SCIENCES ET AVENIR
Sciencesetavenir.fr

Nobel 2016
Ce qu'ils ont découvert p.16

Le chimiste français Jean-Pierre Sauvage

Les frontières de LA CONSCIENCE

Expériences de mort imminente décryptées
États modifiés : coma, transe, rêve lucide...
Les effets de la méditation profonde et de l'hypnose p.38





KHEOPS
Révélations d'un nouveau couloir p.10

SCIENCES ET AVENIR - N° 837 - NOVEMBRE 2016 - LES FRONTIÈRES DE LA CONSCIENCE

NOVEMBRE 2016 - N° 837 ALLEMAGNE 6.80 € / AUTRICHE 5.40 € / BELGIQUE 5.20 € / GRÈCE 5.20 € / CANADA-USA 7.50 $ / ESPAGNE : 5.20 € / ITALIE 5.20 € /
LUXEMBOURG 5.20 € / MAROC 45.00 MAD / TOM 730 XPF / TOM (AVION) 1400 XPF / PORTUGAL 5.20 € / SUISSE 7.70 CHF / TUNISIE 6.50 TND / DOM 5.20 €



ÉDITO



Dominique Leglu
Directrice de la rédaction

Expériences extrêmes

La fascination ne date pas d'aujourd'hui. Certains se souviennent peut-être de celle qu'un best-seller titré *La Source noire* avait exercée il y a trente ans*, réalisant une synthèse de ce qui se disait alors sur les expériences de mort imminente (EMI). Dans cet ouvrage, il était raconté que *« la mort cacherait une clarté à l'éblouissante beauté, pleine de vie. [Qu'il y aurait] aux portes de la mort, une nouvelle approche de la connaissance, de la mémoire »*. Autant dire que la plupart des spécialistes, au grand jamais, n'auraient alors voulu s'acoquiner avec pareil thème de recherche, bon pour la théosophie et autre ésotérisme. À la rigueur, il aurait pu être laissé aux historiens ou ethnologues car, comme le rappelle un spécialiste allemand *(p. 41)* dans le dossier que nous publions ce mois-ci, les EMI surviennent dans toutes les cultures. Il se trouve que, depuis cette époque, des scientifiques sérieux sous tous rapports se sont quand même risqués à explorer ces visions avec impression de tunnel lumineux, à décoder ces récits de décorporation et de paix intérieure, l'image sur notre couverture suggérant cette étrange ambiance, *« aux confins de la conscience »*. Certains taxent ces chercheurs de *« matérialistes »*, comme le fait remarquer non sans humour (p. 43) la neuropsychologue du Coma Science Group (CSG) au CHU de Liège (Belgique) que notre spécialiste Elena Sender a rencontrée. On se doute qu'entre les croyants d'une part, et ceux qui crient à la pseudoscience d'autre part, il leur faut savoir raison garder. En l'occurrence, ils effectuent force mesures sur le cerveau de leurs « expérienceurs », dont les différentes parties peuvent faire surgir des sensations diverses : le cortex cingulaire antérieur aide par exemple à l'absence de douleur, d'autres zones (cortex temporo-pariétal) peuvent susciter l'impression de décorporation… Les ondes émises doivent encore être analysées pour être mieux comprises. C'est justement l'art du CSG de faire revivre cette expérience si singulière que *Sciences et Avenir* fait découvrir ici… grâce aux techniques d'hypnose !

Dans le même temps, que ne découvre-t-on pas avec stupéfaction ? Que nos multiples états de conscience, modulés par diverses ondes cérébrales (alpha, thêta, gamma…), modifient nos perceptions. Pour qui s'interroge sur le rêve, la méditation en pleine conscience, la transe, l'état extatique et plusieurs autres, consulter sans attendre le tableau pp. 44-45. Il montre que selon l'intensité de l'expérience, le phénomène très particulier de « dissociation de soi » grandit. Rien d'ésotérique là-dedans mais une modification de la perception, donc, que certains scientifiques, tel Steven Laureys, du CSG, ont d'ailleurs essayé de revivre. *Sciences et Avenir* lui a fait raconter sa tentative de recréer une EMI, en particulier. Étonnant. De même que de découvrir que l'EMI, devenu mythe contemporain (p. 40), permet à des médecins de *« traiter de la spiritualité sans tomber dans l'écueil de la religiosité »* auprès de personnes en fin de vie. Oui, c'est émouvant. ■ @dominiqueleglu

* Par Patrice Van Eersel, Grasset, aujourd'hui en livre de poche.



Pour joindre la rédaction :
41 bis, avenue Bosquet 75007 Paris - Tél. : 01.55.35.56.00.
E-mail : redaction@sciencesetavenir.fr - Site Internet : sciencesetavenir.fr

Directrice de la rédaction
Dominique LEGLU - 01.55.35.56.02
assistée de Valérie PELLETIER - 01.55.35.56.01

Rédacteurs en chef
Carole CHATELAIN (mensuel) - 01.55.35.56.57
Aline KINER (hors-série) - 01.55.35.56.42
Olivier LASCAR (pôle digital) - 01.55.35.56.15

Adjoint à la rédaction en chef
Laurent PERICONE (édition) - 01.55.35.56.10

Rédactrices en chef adjointes
Andreina DE BEI (photo-iconographie) - 01.55.35.56.31
Stéphane DESMICHELLE (pôle digital) - 01.55.35.56.24

Direction artistique
Thierry VERRET (conception)
Dominique PASQUET (couverture) - 01.55.35.56.59
Jean-Louis GILABERT (directeur artistique) - 01.55.35.56.28
Thalia STANLEY (directrice artistique adjointe) - 01.55.35.56.21

Secrétaire générale de la rédaction
Véronique MESSAGER - 01.55.35.56.18

Chefs de service
Azar KHALATBARI (fondamental, sciences de la Terre) - 01.55.35.56.46
Rachel MULOT (enquêtes) - 01.55.35.56.07
Mathieu NOWAK (actualités, rendez-vous) - 01.55.35.56.38

Adjoint au chef de service
Hervé RATEL (actualités) - 01.55.35.56.45

Chef de rubrique
Sylvie RIOU-MILLIOT (médecine, santé) - 01.55.35.56.54

Rédaction
Bernadette ARNAUD grand reporter (archéologie, histoire) - 01.55.35.56.44
Franck DANINOS (fondamental) - 01.55.35.56.78
Arnaud DEVILLARD (numérique, data, généraliste) - 01.55.35.56.27
Marc GOZLAN (médecine bio, généraliste) - 01.55.35.56.60
Olivier HERTEL (technologie, futur, décryptage) - 01.55.35.56.03
Sylvie ROUAT (espace, océanologie) - 01.55.35.56.40
Elena SENDER grand reporter (biologie, neurosciences) - 01.55.35.56.43

Collaborateurs
Brigitte BÈGUE, Loïc CHAUVEAU, Johan KIEKEN, Henri-Pierre PENEL

Assistante de rédaction
Isabelle RUDI-HOUET - 01.55.35.56.30 - irudi@sciencesetavenir.fr

Ont participé à ce numéro
N. CELNIK, J. CHAMPAVÈRE, C. COUMAU, F. GALÉRON, P. KALDY, J. LACOSTE, M. LE POAIZARD, A.-S. TASSARD.

Secrétariat de rédaction
Frank MIETTON (1er secrétaire) - 01.55.35.56.17

Maquette
Horia BAHRI - 01.55.35.56.19

Photo-iconographie
Isabelle TIRANT - 01.55.35.56.32

Illustration
Betty LAFON - 01.55.35.56.37

Pôle digital
Erwan LECOMTE (chef de rubrique) - 01.55.35.56.56
Lise LOUMÉ (rédactrice santé) - 01.55.35.56.39
Joël IGNASSE (rédacteur spécialisé) - 01.55.35.56.15
Hugo JALINIÈRE (rédacteur santé) - 01.55.35.56.52
Morgane KERGOAT (rédactrice animaux) - 01.55.35.56.41
Sarah SERMONDADAZ (rédactrice spécialisée) - 01.55.35.56.23

Documentation
Isabelle DO O'GOMES (chef de service) - 01.55.35.56.49
Astrid SAINT AUGUSTE - 01.55.35.56.48

Informatique
Daniel DE LA REBERDIÈRE - 01.55.35.56.06

Comptabilité - Ressources humaines
Mélanie BENKHEDIMI - 01.55.35.56.14
Nathalie TRÉHIN - 01.55.35.56.13

Fabrication
Christophe Perrusson

RENSEIGNEMENTS AUX LECTEURS, VENTE AU NUMÉRO
Isabelle RUDI-HOUET 01.55.35.56.50/56.30
41 bis, avenue Bosquet 75007 Paris.
courrier-lecteurs@sciencesetavenir.fr

ABONNEMENTS
Tél. : 01.40.26.86.11
8, rue Jean-Antoine de Baïf, 75013 Paris
abonnements@sciencesetavenir.fr
Tarif des abonnements :
France, 1 an simple (12 numéros) : 35 €. 1 an complet (12 numéros + 4 hors-séries) : 48 €. Tarifs pays étrangers sur demande.
Abonnements Belgique : Partner Press, tél. : 00.32.2.556.41.40 – www.viapresse.be

VENTES Numéro vert (réservé aux diffuseurs de Paris et aux dépôts)
0.800.24.69.33

PUBLICITÉ
MediaObs. 44, rue Notre-Dame-des-Victoires 75002 Paris
Tél. : 01.44.88.97.70. Fax : - 01.44.88.97.79.
Courriel : l'initiale du prénom puis nom suivi de @mediaobs.com

Directrice générale : Corinne ROUGÉ - 01.44.88.93.70
assistée de Marie-Noëlle MAGGIE - 01.44.88.93.70
Directeur de publicité : Sylvain MORTREUIL - 01.44.88.97.75
Directrice de clientèle et responsable Web :
Karine GROSSMAN - 01.44.88.89.08
Assistante commerciale : Séverine LECLERC - 01.44.88.97.57
Exécution : Nicolas NIRO - 01.44.88.89.26
Administration des ventes : Caroline HAHN - 01.44.88.97.58

Directeur commercial : Valéry SOURIEAU
Opérations spéciales : Joëlle HEZARD
Directeur des abonnements
Philippe MENAT - 01.44.88.35.02
assisté de Lina QUACH 34.54
Relations extérieures : France ROQUE - 01.44.88.35.79

Sciences et Avenir SAS
Président, Directeur de la publication :
Claude PERDRIEL
Secrétaire général : Jean-Claude Rossignol

Multimédia : ID OBS, 10-12, place de la Bourse, 75002 Paris. Tél. : - 01.44.88.34.34.
Imprimerie SEGO-Taverny. Distribution Presstalis.



Les noms et adresses de nos abonnés seront communiqués aux organismes liés contractuellement avec *Sciences et Avenir*, sauf opposition. Dans ce cas, la communication sera limitée au service de l'abonnement. Ce numéro comprend un encart Créacontact jeté sur couverture sur la totalité de la diffusion des abonnés et un catalogue Objets du Mois, un encart Capital, un encart Télérama et un encart Psychologies jetés en diffusion partielle des abonnés. Commission paritaire n° 0620 K 79712. ISSN 00368636. Distribué par Presstalis.


PLAINPICTURE

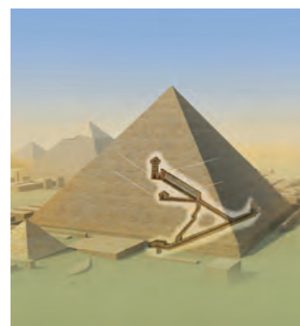
SOMMAIRE

Sciences et Avenir / N° 837 / Novembre 2016

DOSSIER P. 38

Voyage aux confins de la conscience

Expérience de mort imminente, relaxation, méditation, hypnose... Ces états modifiés du cerveau, caractérisés par la fréquence des ondes cérébrales, sont de mieux en mieux compris par les scientifiques, qui mènent de nouvelles études. Reportage.


ILLUSTRATION : MEHDI BENYEZZAR POUR SCIENCES ET AVENIR

Kheops, une cavité inconnue a été découverte dans la pyramide p. 10


ALEXANDRE GOUZOU POUR SCIENCES ET AVENIR

Laurent Schwartz, un franc-tireur à l'assaut du cancer p. 104


OLIVIER HERTEL POUR SCIENCES ET AVENIR

La bicyclette fait sa révolution électrique p. 112

COURRIER

Courriels à : **redaction@sciencesetavenir.fr**


HIGH-TECH

La voiture à hydrogène trace sa route

« La voiture à hydrogène trace sa route »
Sciences et Avenir n° 836, octobre 2016

L'hydrogène, c'est l'avenir...

J'ai lu avec grand intérêt votre article sur la voiture à hydrogène (n° 836). C'est certainement une grande avancée pour diminuer la pollution. Par contre, je suis surpris que vous n'ayez pas évoqué le moteur à combustion à hydrogène. Il est en effet possible de concevoir un moteur à bicarburation essence-hydrogène.

Philippe Pompanon (courriel)

S. et A. : Nous n'avons effectivement pas évoqué le cas du moteur thermique à hydrogène, développé notamment par BMW sur sa série 7, car cette technologie a été complètement abandonnée, BMW s'étant recentré sur la pile à combustible alimentée par hydrogène.

Famille nombreuse

Dans le hors-série n° 186 sur « Le ciel de l'été », il est mentionné qu'environ dix milliards d'étoiles éclosent chaque jour... Ce nombre « astronomique » est-il correct?

Dominique Collet (courriel)

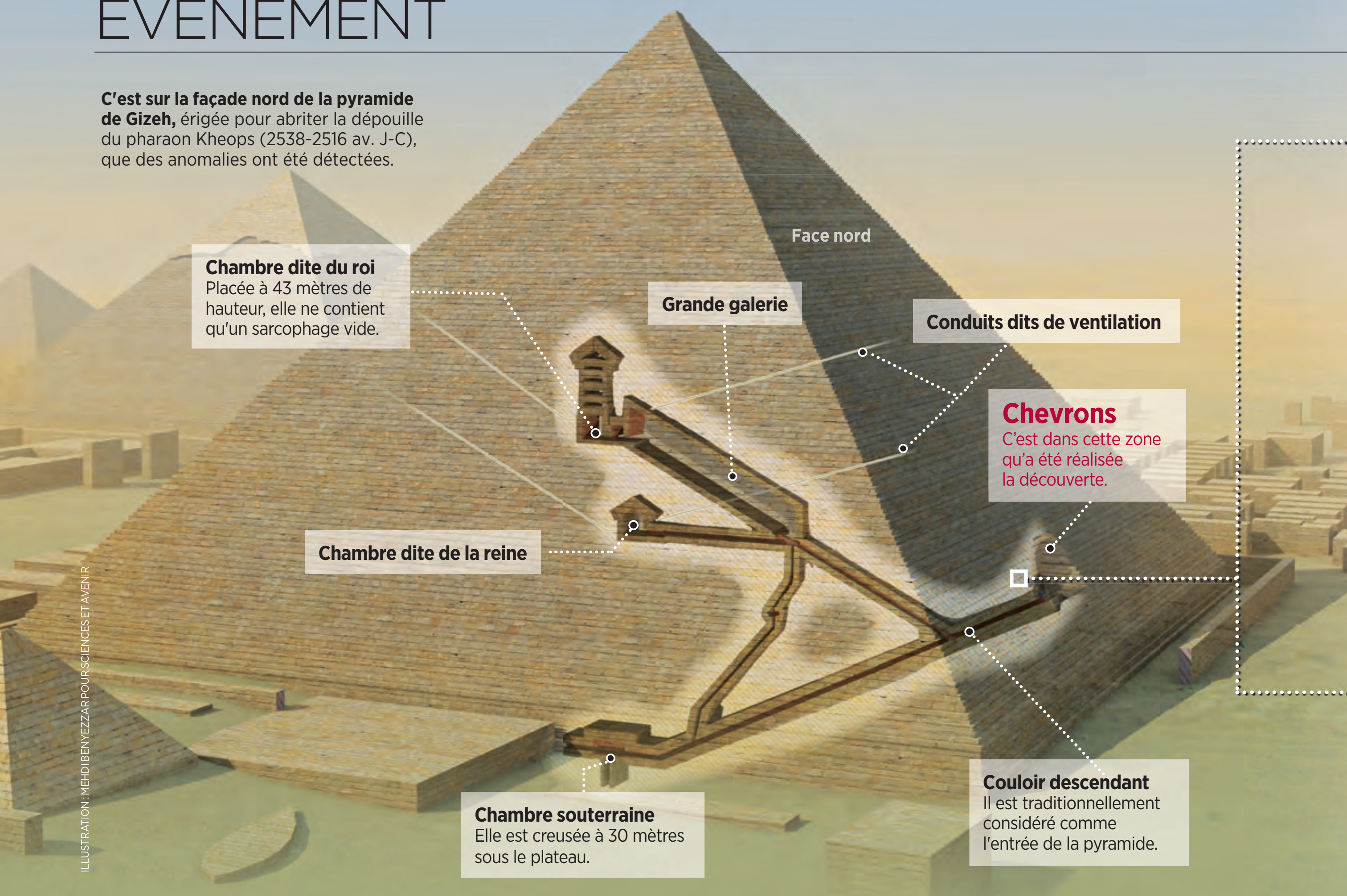
S. et A. : Environ dix milliards d'étoiles naissent bien chaque jour. Il s'agit d'une estimation à l'échelle de l'Univers, qui contiendrait quelque dix mille milliards de milliards d'étoiles...

N'oubliez pas l'herbe du bord des routes...

Fidèle lecteur, je voudrais vous signaler que dans votre article sur le biogaz, vous avez oublié l'important déchet valorisable que sont les herbes des accotements routiers. La France dispose d'un réseau routier de 1 million de kilomètres, soit 2 millions de kilomètres d'accotements fauchés deux fois par an et dont l'herbe est laissée sur place. Or le pouvoir méthanogène de ces herbes est parmi les meilleurs dans la gamme des intrants. Encore faut-il ramasser cette herbe. Quelques rares départements ont opté pour le ramassage par aspiration pour approvisionner des unités de méthanisation locales, mais c'est bien peu par rapport au potentiel.

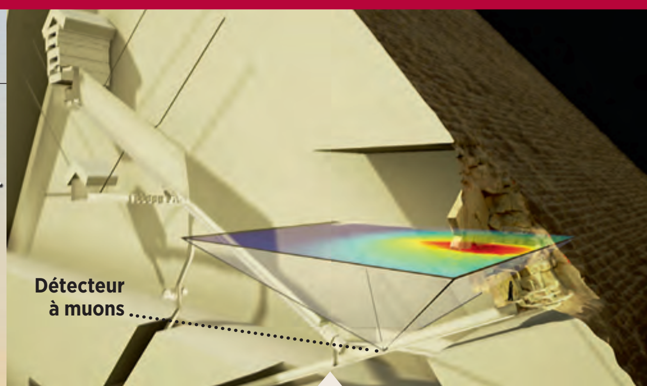
Jean-Pierre Guébourg (Nancy)

S. et A. : Les végétaux des accotements routiers constituent en effet une ressource méthanisable importante. Certains territoires à énergie positive (Tepos) incluent cette ressource dans leurs calculs d'indépendance énergétique. Mais il faut cependant que le méthaniseur ne soit pas trop éloigné de la ressource, sous peine de rendre négatif le bilan énergétique.

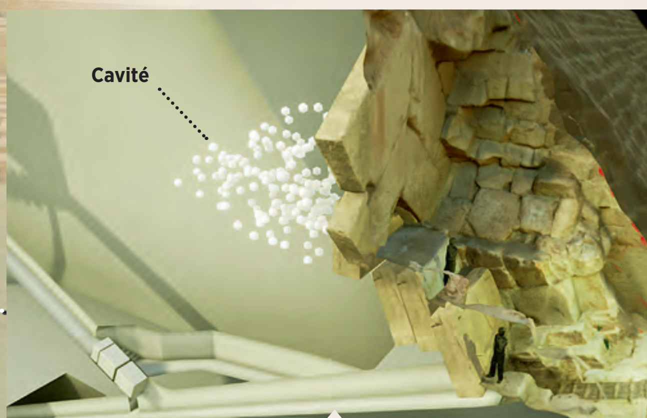


Kheops
Une cavité secrète au cœur de la pyramide

La mission ScanPyramids a découvert un vide inattendu qui s'enfonce dans la géante de pierre. Un résultat prodigieux pour une équipe internationale aux techniques innovantes. Reportage exclusif.



L'image obtenue grâce aux muons (la couleur rouge indique un vide) est ici mise en perspective dans le modèle 3D de la pyramide, à partir de l'emplacement des détecteurs dans le couloir descendant.



Les boules blanches représentent schématiquement la cavité détectée. Sa position et sa forme doivent être affinées, ainsi que la profondeur. Car plus on s'enfonce dans la pyramide, moins les capteurs détectent de muons.

PHOTOS : MISSION SCANPYRAMIDS



La face nord comporte deux ouvertures : l'accès au couloir descendant, aujourd'hui condamné, à 2,50 mètres sous les chevrons ; Et l'entrée des visiteurs, sans doute percée au Moyen Âge.

PAR
Aline Kiner
ENVOYÉE SPÉCIALE EN ÉGYPTE

Depuis plus d'un siècle, le plan de la pyramide de Kheops n'avait pas fondamentalement changé. Et voici que des particules cosmiques viennent de déceler sous sa face nord ce qui pourrait bien se révéler un nouveau circuit pénétrant vers le cœur de la géante de pierre.

C'est par cette face que s'impose le monument lorsqu'on débouche sur le plateau de Gizeh, près du Caire. Une ombre colossale et laiteuse en ce début d'après midi. À une vingtaine de mètres de hauteur, quatre chevrons émergent d'une vaste zone évidée dont les blocs, comme beaucoup d'autres, ont été retirés à partir du Moyen Âge pour construire palais et mosquées du Caire. Dans cette zone, se cache la cavité révélée le 15 octobre par ScanPyramids. Quasiment à la date anniversaire de cette mission internationale lancée en 2015 par l'Institut HIP et la Faculté des ingénieurs du Caire afin de sonder, de manière non destructive, les grands monuments funéraires de la IVe dynastie.

Il faut grimper jusqu'au pied des chevrons pour prendre conscience de leur dimension. Des « trapèzes » de 5 mètres par 2, pesant chacun une dizaine de tonnes. Ils surplombent de plus de 10 mètres l'accès creusé dans la roche par lequel les visiteurs pénètrent aujourd'hui : la fameuse « entrée des voleurs », une ouverture que l'on attribue au calife Al-Mamoun qui l'aurait percée vers 820. Un escalier aménagé parmi les blocs permet l'escalade.

Regarder vers le pied de la pyramide, c'est plonger vers le vide : la pente est si raide que les assises inférieures disparaissent au fur et à mesure de l'escalade.

Tandis que les bruits du plateau — appels des vendeurs de souvenirs, clochettes des calèches… — s'estompent, le son du Caire, ce vrombissement assourdi surligné

MISSION SCANPYRAMIDS



« Les chevrons sont manifestement surdimensionnés pour ce qu'on connaît de Kheops »

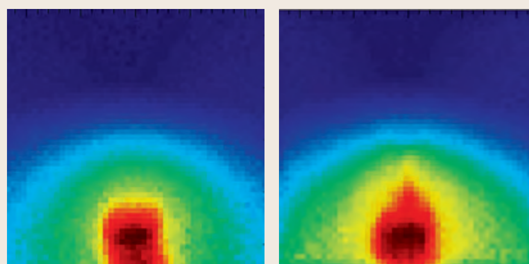
Mehdi Tayoubi, codirecteur la mission de ScanPyramids

DÉTECTION

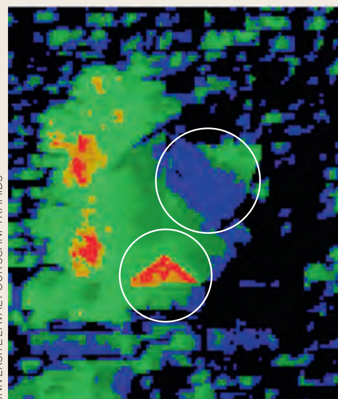
Deux techniques non invasives très performantes

La thermographie infrarouge permet de voir comment les monuments restituent la chaleur du soleil à laquelle ils sont exposés. Toutes les pierres de même nature ayant le même taux d'émissivité, si certaines présentent des différences de température, c'est qu'il existe des anomalies sous la « peau » de l'édifice. Éventuellement des cavités. **La muographie**, quant à elle, utilise des particules élémentaires provenant des hautes couches de l'atmosphère terrestre qui bombardent en permanence la Terre. Comme des rayons X naturels, les muons peuvent traverser et radiographier des structures de grande épaisseur. Trois types de détecteurs sont mis en œuvre par la mission. Le premier est « argentique » : ce sont les films sensibles aux muons de l'université de Nagoya (Japon), qui doivent être exposés durant plusieurs dizaines de jours avant d'être développés. Les deux autres électroniques : le télescope à gaz du CEA et le scintillateur à plastique du KEK, qui restituent les données en temps réel.


MISSION SCANPYRAMIDS



Révélation par les muons. À gauche, l'image que les particules cosmiques auraient dû donner dans le cas d'une pyramide sans anomalie de structure. À droite : un excès significatif de particules, qui dessine la forme d'au moins un couloir, révélé par les capteurs de muons positionnés dans le couloir descendant *(photo du haut)*.


UNIVERSITÉ LAVAL POUR SCANPYRAMIDS


MISSION SCANPYRAMIDS

Après une campagne de thermographie sur 24 heures, menée par l'université Laval (Canada), certaines pierres de la zone des chevrons ont révélé un profil thermique intrigant — notamment le chevron en bleu et la pierre triangulaire en rouge. Ce qui a conduit les chercheurs à se focaliser sur cette zone.

de perpétuels coups de klaxon, se fait de plus en plus présent. Arrivé dans la zone des chevrons, on découvre une petite grille qui ferme l'accès au couloir descendant. Celui-ci rejoint le circuit interne conduisant à la chambre du Roi. Toute cette zone est considérée comme l'entrée originelle de la pyramide. Mais elle intrigue depuis longtemps les archéologues. Car les chevrons servent habituellement à protéger les grandes pièces des forces de pression des blocs au-dessus d'elles. Ils apparaissent pour la première fois dans l'architecture d'une pyramide avec celle de Kheops. Et pas n'importe où : au-dessus de la chambre dite du roi et de celle dite de la reine *(voir l'infographie p. 10)*. Or, ici, ils sont censés n'abriter que le couloir descendant de 1,05 mètre de largeur sur 1,20 de hauteur. Lequel se trouve à 2,50 m plus bas que le premier d'entre eux !

Des milliers de données analysées

En cette fin d'après-midi, les scientifiques s'activent au pied des chevrons. Les pierres de Kheops sont comme un puzzle qui interroge. Mehdi Tayoubi, codirecteur de ScanPyramids, désigne des appuis obliques et des blocs brisés. *« Sans doute les restes de chevrons manquants. Le dispositif est manifestement surdimensionné pour ce qu'on connaît de la pyramide »*, explique-t-il. À ses côtés, Clemente Ibarra, de l'université Laval (Canada), Sébastien Procureur, du Commissariat à l'énergie atomique (CEA Irfu, Saclay, Essonne), Yasser El Shayeb, de la Faculté des ingénieurs du Caire, Benoît Marini, expert en simulation… Tous partagent le plaisir de se retrouver sur le site pour la première fois depuis la découverte. Car c'est dans des laboratoires, après l'analyse de milliers de données par des ordinateurs, qu'elle a été révélée. Les mesures infrarouges *(lire l'en-*

K. MORISHIMA (NAGOYA UNIVERSITY) ET BENOÎT MORINI POUR CANPYRAMIDS - K. MORISHIMA (NOGAYA UNIVERSITY) POUR SCANPYRAMIDS

cadré p. 12) ont donné le premier indice. En novembre 2015 et en juin dernier, deux campagnes, destinées à évaluer le comportement thermique des pierres en surface, ont montré des images étonnantes sur la face nord de Kheops. « *Les chevrons sont orientés de la même façon par rapport au soleil, il s'agit du même type de matériau, probablement de mêmes dimensions, donc leur réponse thermique devrait en principe être très similaire,* explique Clemente Ibarra. *Ce qui n'est pas le cas.* » « *Il était difficile de tirer des conclusions définitives de ces résultats,* explique Hany Helal, directeur de la mission et professeur à la Faculté des ingénieurs du Caire. *Mais ils étaient inattendus. Donc, pour nous, intéressants. D'où la décision d'explorer la zone avec d'autres techniques.* »

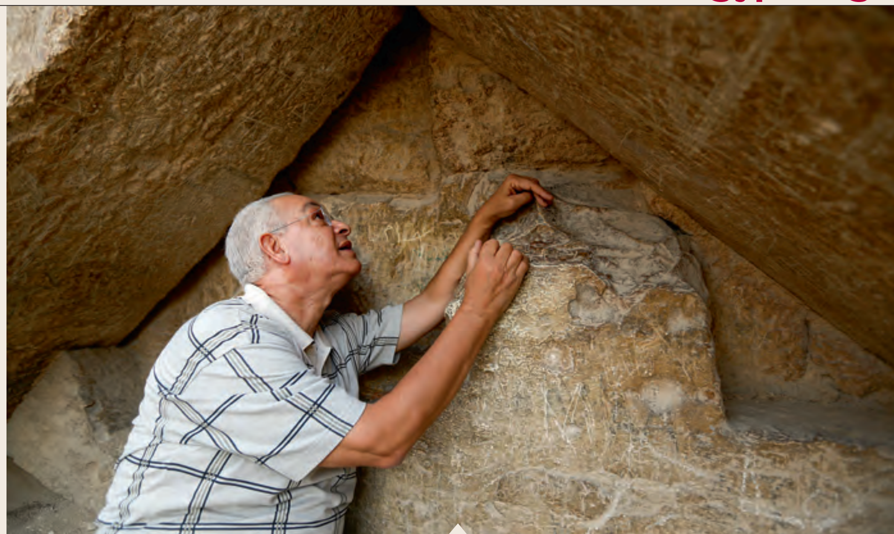
Un vide important apparaît

La mission recourt alors à la muographie *(lire l'encadré p. 12)*. En juin, l'équipe de Kunihiro Morishima, de l'université de Nagoya (Japon), déploie trois films plastiques enduits d'une émulsion chimique sensible aux particules dans le couloir descendant. Leur mission : tenter de détecter une cavité au-dessus d'eux. Parallèlement, la zone est modélisée avec l'aide de la Fondation Dassault Systèmes et de la société Emissive afin d'évaluer, notamment, l'impact des roches manquantes sur le flux de muons. Soixante-sept jours de pose plus tard, les films sont développés à l'université de Nagoya, puis analysés. Les trois plaques montrent un excès de muons dans la même direction. Après comparaison avec les images obtenues par le simulateur, le résultat est sans appel : dans la zone des chevrons apparaît un vide important.

La découverte a été présentée jeudi 13 octobre au Comité scientifique du ministère des Antiquités présidé par l'archéologue égyptien Zahi Hawass, ancien ministre. Les données validées, la mission est autorisée à poursuivre son travail durant une année. De quoi affiner la position exacte de la cavité, sa taille et sa forme. Sur l'image muonique, on distingue une forme de couloir. Mais il s'agit peut-être de plusieurs corridors superposés. À quoi est-il (sont-ils) relié(s) ?

Jusqu'à quelle profondeur s'enfonce ce circuit ? Douze nouvelles plaques sensibles aux muons sont actuellement positionnées dans le couloir descendant. Leurs données seront collectées à la fin du mois d'octobre.

La mission va également pouvoir compléter ses données sur ▶



Hany Helal, directeur de la mission, au pied des chevrons de la face nord.

MISSION SCANPYRAMIDS

RECHERCHES

Le mystère des chambres funéraires

Trois chambres funéraires, une grande galerie monumentale, dont la fonction reste énigmatique, d'étranges conduits dits de ventilation… « *Kheops ne ressemble à aucune autre pyramide !* », s'étonne encore l'égyptologue américain Mark Lehner après des décennies de travail sur les monuments funéraires de l'Ancien Empire. Les mystères s'accumulent à la hauteur de l'édifice, le plus volumineux jamais construit de main d'homme… dont aucun archéologue ne peut d'ailleurs dire avec certitude comment il a été bâti. Quant à son propriétaire, il n'a laissé comme seule trace de son passage qu'une inscription portant son nom, cachée sous la voûte en chevrons de la chambre dite du roi, et un sarcophage en granit plutôt grossier, vide et sans couvercle. Comme les autres pyramides, Kheops a été pillée, peut-être au Moyen Âge, peut-être avant. L'originalité de sa structure a alimenté de nombreuses hypothèses sur l'existence d'une chambre secrète encore inconnue. L'ancien ministre égyptien des Antiquités, Zahi Hawass, a exploré à deux reprises avec un robot le conduit sud de la chambre de la Reine à la recherche d'une cavité. La découverte d'un nouveau circuit dans la zone des chevrons par ScanPyramids vient ajouter aux questionnements. En 1987, l'architecte français Gilles Dormion a supposé, dans cette zone, la présence d'un couloir méconnu qui, selon lui, aurait servi aux manœuvres. En 1988, des chercheurs de l'université de Waseda (Japon) ont, quant à eux, grâce à une campagne radar, affirmé qu'un second corridor pourrait doubler sur 30 mètres celui qui mène à la chambre de la Reine. Peut-on l'imaginer connecté au circuit découvert par les muons ? Reste le travail de Jean-Pierre Houdin. Selon l'architecte français, il existerait deux antichambres inconnues reliées à la chambre du Roi. Un ensemble qui débuterait derrière les chevrons et par lequel serait passé le cortège funéraire du pharaon.



LE + NUMÉRIQUE
La vidéo qui explique comment ScanPyramids a trouvé une cavité :
sciav.fr/837kheops

TECHNOLOGIE

Un robot pour l'archéologie du futur

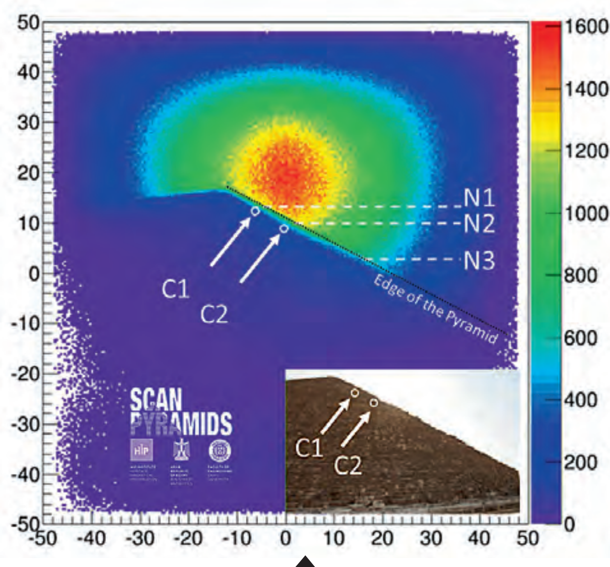
Une équipe française d'Inria développe un drone gonflable qui pourrait explorer des cavités difficiles d'accès, comme celle découverte dans la pyramide de Kheops.



MISSION SCANPYRAMIDS

Jean-Baptiste Mouret (au centre) effectue, avec Bertand Duplat (à droite), une démonstration du robot-dirigeable. Avant d'être gonflé à l'hélium, l'engin se présente sous la forme d'un long tube qui peut passer par un trou d'à peine 3 cm de diamètre.

Une scène de science-fiction ! Mais peut-être une réalité pour les archéologues dans deux ans. Au fond d'un étroit couloir, un « robot-montgolfière » évolue doucement, se rapproche des murs, tourne sur lui-même, pointe ses LED comme deux yeux brillants. À l'autre bout du laboratoire, Jean-Baptiste Mouret pilote le dirigeable en suivant les images que les mini-caméras renvoient sur son ordinateur : les grains sur les murs, comme les reliefs d'une planète inconnue. Le roboticien appartient à l'équipe Larsen d'Inria, au sein de laquelle il travaille sur l'apprentissage des robots. Son objectif : *« donner les moyens à ces derniers de se débrouiller seuls, de résister à tous les aléas de la vraie vie »*. En mai 2015, l'équipe de Jean-Baptiste Mouret a fait la couverture de la revue *Nature* grâce à un robot insecte capable de s'adapter à la moindre panne en deux minutes. Aujourd'hui, le nouveau défi est archéologique. L'institut HIP, dont la mission est de mettre les dernières technologies au service du patrimoine, a demandé à Jean-Baptiste Mouret et à Bertrand Duplat, entrepreneur, spécialiste en robotique et en intelligence artificielle, de concevoir un dispositif d'exploration capable de s'introduire dans une cavité par un trou de quelques centimètres à peine. *« Nous souhaitons profiter de l'enthousiasme autour de la mission ScanPyramids pour motiver les laboratoires à imaginer les dispositifs d'exploration de demain »*, explique Mehdi Tayoubi, président de HIP. Balade réussie pour ce premier test. Même dans le noir complet, le robot progresse sans difficulté et sans rebondir sur les murs. S'il se cognait, il y aurait, de toute façon, peu de danger. Le ballon est gonflé à l'hélium — un gaz non inflammable —, et son enveloppe en Mylar est ultrarésistante. La nacelle quant à elle est faite de deux joncs de carbone de 45 centimètres de long sur lesquels sont enfilés, comme des perles sur un fil, des petits éléments imprimés en 3D qui maintiennent l'électronique : récepteur radio, moteurs de 4 millimètres de diamètre, batteries lithium-polymère de 6 grammes, une mini-caméra et des LED. *« L'optique et la lumière sont à améliorer »*, note Jean-Baptiste Mouret en suivant les images sur son écran. Mais le plus difficile n'est pas là. Il va encore falloir concevoir le système qui permettrait d'introduire puis de déployer le robot dans une zone à explorer. Le concept général est de glisser, dans un trou de 3 centimètres de diamètre, un tube dans lequel serait placé le dirigeable dégonflé. Dans ce tube, des fils électriques et un tuyau d'hélium ; au bout, des antennes, des LED et surtout des « bras » qui s'ouvrent pour lâcher le dirigeable, une fois qu'il a franchi le trou. Au retour, lorsque le robot atteint sa limite d'autonomie, il se présente à sa base et les bras se replient sur lui. *« J'aime la comparaison avec un vaisseau spatial*, commente le chercheur. *Une fois qu'il se décroche, même s'il est proche, le drone est seul, dans le noir, on ne peut plus l'atteindre, on voit seulement ce qu'il voit. »*



Ce que les télescopes du CEA ont vu : outre les encoches N1, N2 et N3, et la cavité C2 déjà connues, une nouvelle cavité d'environ 9 m^2, nommée C1 à environ 105 mètres de haut sous l'arête nord-est.

CEA/IRFU POUR MISSION SCANPYRAMIDS

une autre découverte très intrigante, réalisée elle aussi grâce aux particules cosmiques. Mais cette fois-ci à l'aide un dispositif placé à l'extérieur du monument : trois télescopes à muons, mis au point spécialement pour la mission par le CEA ont en effet détecté une cavité inconnue, à environ 105 mètres de hauteur, 5 mètres sous la surface *(lire ci-contre)*.
Et ce n'est peut-être qu'un début ! Car désormais Kheops est scrutée au plus profond de ses entrailles. Au cœur de la chambre dite de la reine, un scintillateur à muons, installé par le KEK (l'équivalent au Japon du Cern européen), continue d'analyser la partie haute de la pyramide. Tandis que des dizaines de films tapissent le sol et la niche de cette même pièce. *« Après un an de confrontation avec le terrain, nous avons prouvé que notre démarche fonctionne*, souligne Mehdi Tayoubi. *La multidisciplinarité est efficace, autant pour faire progresser chacune des technologies que pour fournir des données nouvelles à l'archéologie. »* D'autres institutions scientifiques internationales ont d'ailleurs manifesté le désir de rejoindre la mission comme le Fermilab (l'équivalent américain du Cern) ou Inria dont un laboratoire travaille au développement d'un drone *(lire p. 14)*.
Autour des chevrons, tandis que le soleil glisse peu à peu vers l'ouest, accentuant les reliefs dans le chaos ordonné de pierres, les hommes de ScanPyramids poursuivent leur méticuleux examen des blocs et de leurs jonctions, glissent un endoscope dans une anfractuosité, évaluent les flux d'air dans une cavité et, surtout, échangent. Ces moments, où les chercheurs des différentes équipes se rencontrent sur le terrain, sont rares et précieux. Chaque discipline apporte son expertise à l'autre, les intelligences se frottent, l'esprit critique aiguisé, les campagnes futures prennent forme. Au pied de la pyramide, durant ce temps, le plateau s'est vidé, les touristes ont quitté les lieux. La lumière se dore, Kheops se fait ocre. Et des chiens, roux comme le sable, approchent en sinuant, grimpent quelques assises, s'installent pour la nuit. ■



MISSION SCANPYRAMIDS

INTERVIEW

SÉBASTIEN PROCUREUR
COMMISSARIAT À L'ÉNERGIE ATOMIQUE (CEA, SACLAY, ESSONNE)

« Une autre cavité sous une arête de la pyramide »

Comment avez-vous réalisé cette découverte sous l'arête nord-est de Kheops ?
L'objectif de notre première campagne était de valider les performances de nos télescopes à muons en identifiant dans cette zone une cavité déjà connue. Nous avons installé nos instruments de part et d'autre de l'arête, deux face est, un face nord, tous pointés dans la même direction vers cette cavité qui se trouve à l'arrière d'une encoche à environ 83 mètres de hauteur. Au bout de deux à trois mois de données, nous l'avons effectivement localisée. Mais comme les télescopes ont un angle d'ouverture plutôt important, nous avons recueilli des données sur une large portion de l'arête. C'est en les analysant que nous avons découvert qu'il existait une deuxième cavité 22 mètres plus haut.

De quelles dimensions ?
L'excédent de muons, qui signe ici la présence d'un vide, est similaire à celui mesuré au niveau de la cavité connue. Elles ont donc plus ou moins les mêmes dimensions, soit à peu près trois mètres de côté. Toutes deux se trouvent à une profondeur de 4 et 5 mètres sous l'arête.

Quel est votre degré de certitude pour cette découverte ?
Les deux télescopes avec lesquels nous avons obtenu le plus de statistiques, Alhazen et Brahic, voient le même excédent de muons au même endroit. Et si nous cumulons ces excédents, nous dépassons la valeur de 5 sigmas, qui permet de valider une découverte en physique des hautes énergies. D'où un degré de confiance extrêmement élevé.

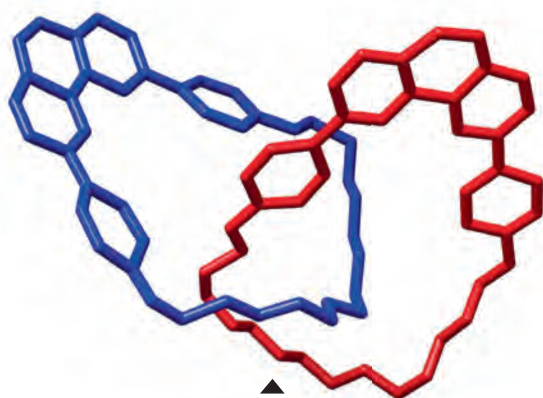
Quel est désormais votre programme ?
Il faut finaliser l'analyse des données.
Nous avons remarqué des anomalies à d'autres niveaux de l'arête. Elles présentent un excédent de muons moins élevé, mais nous devons optimiser nos algorithmes. Restent aussi les données récupérées par le troisième télescope, Alvarez, que nous devons traiter. Ensuite, il serait très intéressant et pertinent de scanner une autre arête, par exemple celle sud-est, pour voir si l'on y retrouve aussi des cavités. De quoi tester différents modèles sur la structure de la pyramide. **Propos recueillis par A. K.**



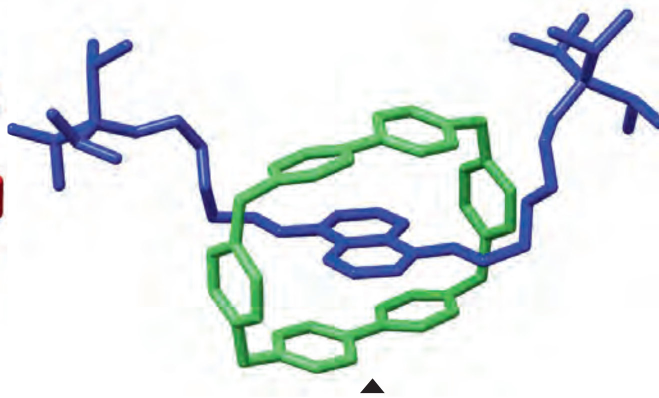
CHIMIE

Quand les molécules se mettent à danser

Le Français Jean-Pierre Sauvage a été distingué pour avoir ouvert un nouveau champ de recherche sur les machines moléculaires.



Le caténane est formé de deux anneaux entrelacés, capables de bouger l'un par rapport à l'autre. Des outils moléculaires ont été fabriqués à partir de cette architecture.



Le rotaxane est un anneau se déplaçant le long d'une tige. Cette construction est à la base de l'ascenseur moléculaire.

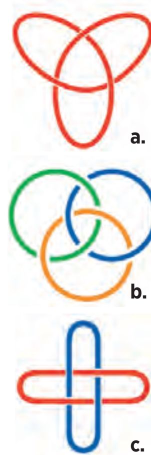
Quelques minutes avant l'annonce du prix, le 5 octobre, l'un des membres du comité Nobel se présente dans la prestigieuse salle de l'Académie royale de Suède avec une petite boîte. À l'intérieur... un ascenseur, un moteur, quelques voitures et une ribambelle d'engins ! Seulement, pour les voir, il faut disposer d'un puissant microscope car ces machines sont 1000 fois plus petites que l'épaisseur d'un cheveu. Elles fonctionnent avec quelques molécules à peine, mais peuvent accomplir — à leur échelle — des tâches identiques à celles de leurs équivalents macroscopiques. Mais surtout, ce sont les premières molécules capables d'effectuer des mouvements. Et leur conception, qui vaut aujourd'hui au Français Jean-Pierre Sauvage, pionnier de la discipline, le prestigieux prix Nobel de chimie, a ouvert un nouveau champ de recherche *« qui a essaimé à travers le monde : aujourd'hui on compte de nombreux laboratoires en Europe, aux États-Unis et au Japon qui travaillent dans ce domaine »*, commente le chercheur qui s'est exprimé au siège du CNRS quelques heures après l'annonce de son prix.

L'histoire de ces machines moléculaires commence en effet avec l'invention du caténane *(schéma ci-dessus)* par ce chimiste de l'Institut de sciences et d'ingénierie supramoléculaires à Strasbourg au tournant des années 1980 : deux molécules en chaîne formant deux anneaux entrelacés, capables de bouger l'un par rapport à l'autre.

Une association qui n'existait ni en labo, ni dans la nature

Pour réaliser cet assemblage, Jean-Pierre Sauvage utilise un ion cuivre qui, grâce à sa charge électrique, rapproche deux brins moléculaires pour les unir en anneau. Puis, il retire l'ion cuivre. Restent les deux anneaux dans une configuration totalement inédite : pareille association n'existait jusqu'alors ni en laboratoire, ni dans la nature.

Le caténane ouvre ainsi une piste prometteuse que Jean-Pierre Sauvage va défricher sans relâche pour imaginer d'autres constructions comme cette chaîne formant un nœud de trèfle *(a, ci-contre)*. D'autres lui emboîtent le pas, comme l'Écossais Fraser Stoddart, de la Northwestern University (États-Unis) — colauréat du prix Nobel — avec la figure de Borromée (trois anneaux entrelacés, *b*). Les deux chercheurs imaginent même ensemble un nœud de Salomon *(c)*. En 1991, Fraser Stoddart conçoit le rotaxane : un anneau se déplaçant le long d'une tige *(schéma en haut à droite)*. C'est cette association qui est à la base de l'ascenseur moléculaire ou encore de répliques de fibres musculaires capables de se contracter. Puis le Néerlandais Bernard Feringa de l'université de Gro-



Nœuds moléculaires : trèfle (a), Borromée (b), Salomon (c).


DAVID BETZINGER/SIPA

PORTRAIT

Jean-Pierre Sauvage, université de Strasbourg

Il ne s'y attendait pas : « *Lorsque j'ai reçu le coup de fil du comité Nobel, j'ai cru que c'était une blague. Puis avec Jean-Marie [Lehn], nous avons consulté le site Internet des Nobel. C'est à ce moment-là que nous y avons cru !* » dit le nouveau récipiendaire. Ensuite, « *il a fallu aller chercher du champagne, car nous avions bu la dernière bouteille gardée dans le réfrigérateur de notre laboratoire strasbourgeois pour fêter le Nobel de chimie de Martin Karplus en 2013* », s'amuse Jean-Marie Lehn. Les distinctions pleuvent sur l'université de Strasbourg : après Jean-Marie Lehn, en 1987, l'Austro-Américain Martin Karplus, dirigeant l'un des laboratoires de l'Institut de sciences et d'ingénierie supramoléculaire (Isis), a reçu le Nobel 2013. Jean-Pierre Sauvage y est donc le troisième à être couronné. Sans compter le prix Nobel de médecine 2011 attribué à un autre Strasbourgeois Jules Hoffman. Pour le chimiste de 71 ans, la raison d'un tel succès est à rechercher dans la *« très grande liberté »* donnée aux étudiants et dans l'émulation intellectuelle permanente entre générations. Lui-même a fait presque toute sa carrière sur place, au CNRS. Aujourd'hui professeur émérite, il continue à fréquenter le laboratoire même s'il a désormais plus de temps à consacrer à ses autres passions, la musique et la culture japonaise. Et quand on lui demande comment il compte utiliser le pactole du Nobel (près de 275 000 €), il répond malicieusement : « *C'est ce que gagne* [le footballeur] *Ronaldo en dix minutes ; si vous me demandez ce que je vais en faire, alors demandez-le lui aussi toutes les dix minutes !* »

ningue (Pays-Bas) — le troisième récipiendaire du prix — fait un pas supplémentaire : il conçoit en 1999 des pales tournant toujours dans le même sens, fabriquant ainsi un moteur moléculaire qui a donné naissance à des « nanovoitures » (*lire* S. et A. *n° 806, avril 2014*). En 2000, l'équipe de Jean-Pierre Sauvage parvient à synthétiser un premier moteur qui mime les filaments d'actine sur ceux de myosine dans les muscles – les deux principaux constituants des fibres musculaires. Pour les contracter ou les allonger l'équipe a utilisé une réaction chimique. Puisque dans la vie réelle, les machines font le plein d'essence, à quoi carburent leurs cousines lilliputiennes ? « *Certaines sont mises en mouvement par une réaction chimique* », précise Jean-Pierre Sauvage. C'est alors un transfert de charges électriques qui crée un courant, comme lorsque l'on procède à l'électrolyse de l'eau. « *D'autres fonctionnent grâce à la photonique* [l'utilisation de la lumière] », a-t-il complété. C'est cette source d'énergie qui assure la marche des nanovoitures.

Quant à la question *« à quoi cela peut-il bien servir ? »*, le Nobel français et ses proches collaborateurs — dont son directeur de thèse Jean-Marie Lehn, du même laboratoire et également prix Nobel (1987) — répondent par l'importance de la recherche fondamentale sans finalité immédiate. *« Si nous ne faisons pas de recherche fondamentale personne n'en fera ! »*, s'est exclamé Jean-Marie Lehn. Le développement nécessite en effet des compétences bien différentes que ce que l'on peut trouver dans un laboratoire de recherche : il faut des études de marché, des investisseurs, et une équipe de recherche et développement dédiée.

À plus long terme, c'est l'interdisciplinarité qui devrait susciter ces collaborations et favoriser les applications avec, par exemple, la mise au point de matériaux aux propriétés exceptionnelles, de microrobots, de nanodrones ou encore de nanovecteurs pour acheminer des médicaments à travers l'organisme vers des cellules cibles... « *Les polymères supramoléculaires ont été inventés en 1990 et il a fallu attendre 2013 pour qu'ils soient utilisés dans un implant cardiaque pour enfants* », rappelle Jean-Marie Lehn. Un appel à la patience en somme. ■

Azar Khalatbari



LE + NUMÉRIQUE
Retrouvez l'interview de Jean-Pierre Sauvage sur **sciencesetavenir.fr**



AFP

LES AUTRES LAURÉATS

(de gauche à droite)

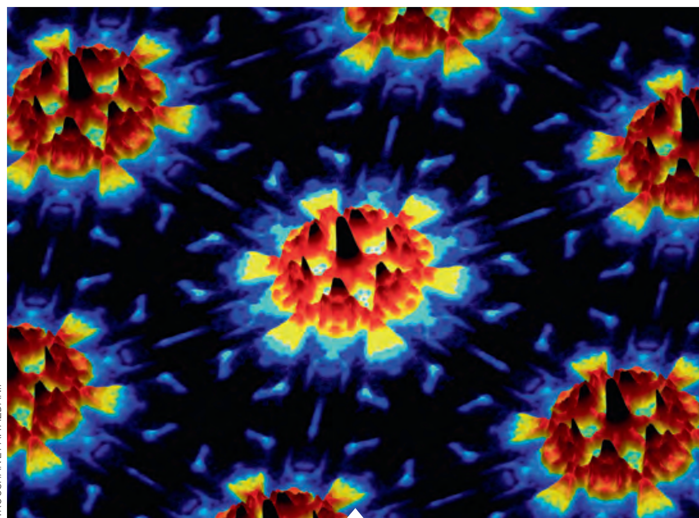
Bernard Feringa, université de Groningue (Pays-Bas).
Sir J. Fraser Stoddart, Northwestern University, Evanston (États-Unis).



PHYSIQUE

À la source des matériaux exotiques

Les travaux des physiciens britanniques récompensés ont contribué à mieux comprendre les états exceptionnels de la matière.



P. ROUSHAN ET A. YAZDANI

Représentation à l'échelle atomique de la surface d'un isolant topologique qui a l'étrange propriété d'être isolant à l'intérieur et conducteur en surface.

Ce sont trois Britanniques travaillant dans des universités américaines qui se sont partagé le prix Nobel de physique : David Thouless, Duncan Haldane, et Michael Kosterlitz. Leur domaine : la matière condensée, comme se nomment ces états exotiques de la matière, très différents de ceux qui nous sont familiers (solide, liquide ou gaz). Ainsi, à de très basses températures, la matière peut se doter de propriétés étranges, comme la superfluidité où toute viscosité disparaît, et où un liquide grimpe aux parois de son contenant ; ou encore l'état de supraconductivité dans lequel toute résistance au passage du courant disparaît. Ces curieux états de la matière ont déjà valu le prix Nobel aux découvreurs de la supraconductivité (1972) et de la superfluidité (1996). Cette année, il récompense les chercheurs qui ont contribué à décrire ces étonnants phénomènes physiques, cette fois dans les films minces, grâce à leurs travaux de topologie — cette branche des mathématiques que l'on a longtemps cru dépourvue d'interaction avec le monde réel.

David Thouless et Michael Kosterlitz, qui travaillent sur la superfluidité et la supraconductivité, ont ainsi décrit des tourbillons dans les films superfluides, tandis que Duncan Haldane s'est intéressé aux fils aimantés. Leurs résultats ont déjà été féconds : *« Nous nous sommes rendu compte que la couche d'électrons de surface pouvait acquérir des propriétés tout à fait extraordinaires et différentes de celles des électrons à l'intérieur du matériau »*, explique David Carpentier, du Laboratoire de physique de l'ENS de Lyon, dont les travaux sont issus de cette rupture mathématique. ■ **A. Kh.**



SIPA



AFP

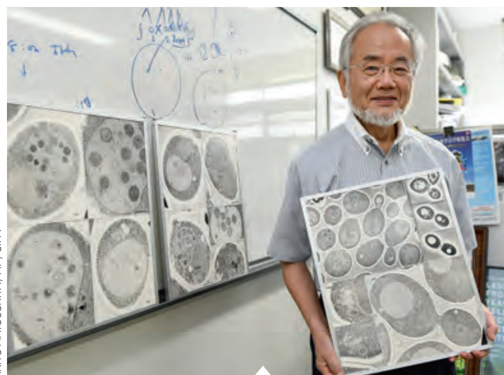


SIPA

LES LAURÉATS

(de haut en bas)

David Thouless, université de Washington (Seattle)
Duncan Haldane, université de Princeton
Michael Kosterlitz, université Brown (Providence)



AKITO MATSUSHITA/AP/SIPA

Yoshinori Ohsumi, Institut de technologie de Tokyo (Japon).

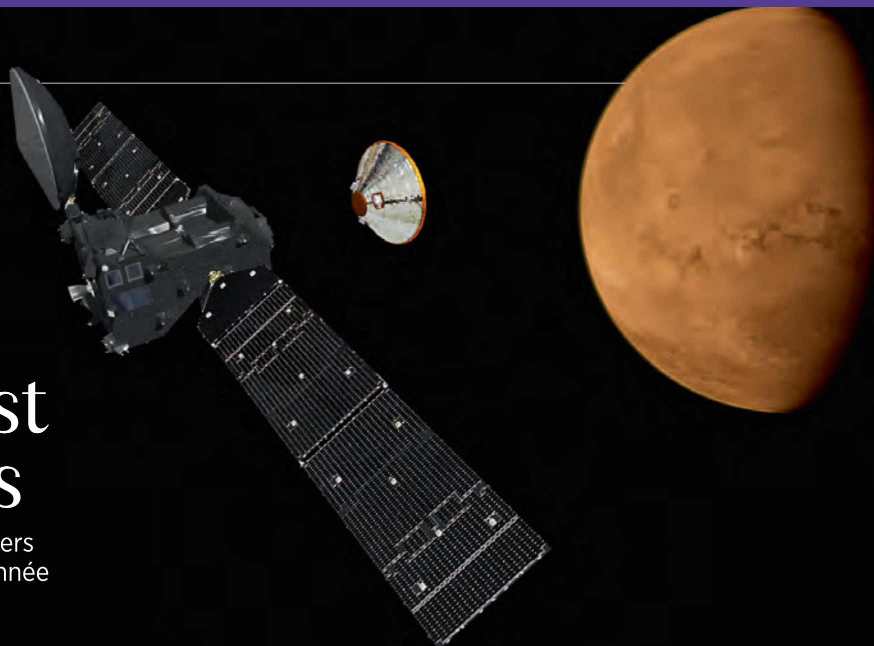
MÉDECINE

Autophagie, l'autre mort des cellules

Pendant longtemps, les scientifiques ont cru que les cellules d'un organisme ne pouvaient connaître qu'une seule fin : la nécrose, une mort pathologique responsable d'inflammation. Jusqu'à la découverte, dans les années 1960, d'un autre type de mort cellulaire, pour le moins étonnant : la dégradation partielle de son contenu par la cellule elle-même, baptisée autophagie. Aujourd'hui, le chercheur japonais Yoshinori Ohsumi est récompensé par le prix Nobel de physiologie ou médecine pour en avoir précisé les mécanismes. C'est en menant des expériences sur la levure que Yoshinori Ohsumi a identifié les gènes en cause et mis en évidence les ressorts sous-jacents. Des recherches cruciales pour comprendre le renouvellement des cellules et la réponse du corps aux infections ou à la faim puisque l'autophagie permet de recycler des nutriments. ■ Lise Loumé

L'atterrisseur Schiaparelli s'est perdu sur Mars

Le module européen a raté sa descente vers Mars, mais la sonde TGO s'est bien positionnée en orbite autour de la planète



La sonde TGO, en orbite autour de la planète Rouge, a largué le module Schiaparelli, le 20 octobre (vue d'artiste).

ESA, ATG - MEDIALAB

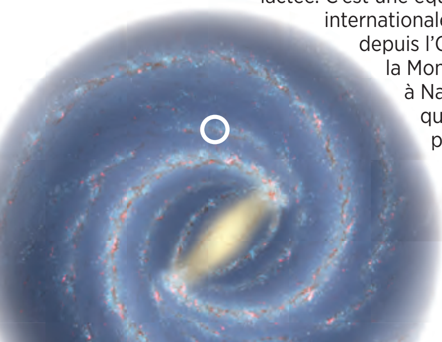
ESPACE Jeudi 20 octobre, 10 heures ; après une nuit blanche passée à dépouiller les données, le verdict redouté est tombé : la tentative russo-européenne de poser un engin sur Mars est un échec. Le module Schiaparelli a bien été largué, ses parachutes se sont bien ouverts, mais quelque chose n'a pas fonctionné ensuite. Il semble que ses rétrofusées n'ont pas été activées assez longtemps. *« On vous répète que Schiaparelli était un test »*, commente, agacé, le directeur général de l'Agence spatiale européenne, Johann-Dietrich Wörner. Avant de positiver : *« On a une sonde en orbite. C'est un succès ! »* En effet, la sonde TGO, elle, s'est bien positionnée autour de la planète Rouge. Elle va donc pouvoir analyser avec précision la composition de son atmosphère et partir à la recherche des curieuses bouffées de méthane enregistrées au sol. Mais hélas ! les Américains restent donc les seuls à ce jour à avoir réussi à poser sur Mars des engins opérationnels. **M. N. avec E. L.**

EN BREF

LUNE ET SÉISMES. Les violents tremblements de terre seraient plus susceptibles de se produire à la pleine Lune ou à la nouvelle Lune, selon une étude japonaise. **STATION CHINOISE.** La Chine a lancé son deuxième module scientifique, Tiangong-2, successeur de Tiangong-1 qui doit cesser de fonctionner en 2017.

Notre système solaire est situé sur un bras de la Voie lactée

ASTRONOMIE Contrairement à ce que les astronomes pensaient jusqu'à présent, notre système solaire ne se trouve pas quelque part sur un pont de gaz et d'étoiles entre deux bras de notre galaxie mais bien sur l'un des bras principaux. Officiellement baptisé bras d'Orion, c'est le cinquième de la Voie lactée. C'est une équipe internationale travaillant depuis l'Observatoire de la Montagne Pourpre à Nankin (Chine) qui vient ainsi de préciser notre adresse dans l'Univers. **A. Kh.**



◀ **Le 5e bras de la Galaxie** abrite notre système solaire (cercle).

NASA/JPL-CALTECH/ESO/R. HURT

45.10^{15} années — La demi-vie du tantale

CHIMIE **Trois millions de fois l'âge estimé de l'Univers ! C'est la dernière évaluation de la période de désintégration du plus stable des éléments, le ^{180m}Ta, l'isomère d'un des isotopes du tantale qui existe dans la nature.** **A. Kh.**

SOURCE : BJÖRN LEHNERT, TECHNISCHE UNIVESITÄT DRESDEN, ALLEMAGNE.

Les dernières images de Rosetta

ASTRONOMIE Le signal de Rosetta s'est définitivement éteint vendredi 30 septembre à 13 h 19, au terme d'une mission de douze années qui a emporté la sonde à quelque 8 milliards de kilomètres de la Terre. Au cours de sa descente sur la comète 67P/Tchourioumov-Guérassimenko — dite familièrement Tchouri —, elle a transmis d'ultimes images *(page ci-contre)*. La dernière a été prise à une distance de seulement 51 mètres de la surface de la comète. **M. N.**

Dix fois plus de galaxies

ASTRONOMIE Selon les nouvelles données du télescope spatial Hubble, le nombre de galaxies observables dans l'Univers a été fortement sous-estimé par les astronomes : il y en aurait 2000 milliards, et non pas 100 à 200 milliards (chacune contenant 100 à 200 milliards d'étoiles et sans doute au moins autant de planètes). **J. I.**

SOURCE : CHRISTOPHER CONSELICE, UNIVERSITY OF NOTTINGHAM, ROYAUME UNI.

D Wave annonce un puissant ordinateur quantique

INFORMATIQUE La société D Wave basée à Vancouver (Canada) affirme avoir conçu un modèle utilisant 2000 qubits, contre 1000 auparavant. Alors que dans les ordinateurs classiques, un bit peut prendre deux valeurs (zéro ou un), les qubits peuvent endosser deux valeurs à la fois. Cette annonce a été accueillie avec beaucoup de scepticisme par le monde académique (où l'on peine à dépasser la dizaine de qubits) qui attend que la société, coutumière des annonces chocs, présente les preuves de son exploit. **A. Kh.**

Vers des habits producteurs d'électricité



GEORGIA TECH

Le textile combine cellules solaires et générateurs triboélectriques.

MATÉRIAUX Un tissu développé par le Georgia Institute of Technology d'Atlanta (États-Unis) produit de l'électricité à partir de deux sources d'énergie : le soleil et les mouvements. Ses concepteurs imaginent l'utiliser pour concevoir des vêtements capables de recharger divers appareils électroniques placés simplement dans les poches. **O. H.**



SIPA

QUESTIONS À

Thomas Pesquet

L'astronaute français doit décoller pour la Station spatiale internationale le 15 novembre.

« Mon rêve spatial va se réaliser »

Ressentez-vous de la peur avant le départ ?
Pour l'instant, très honnêtement, non. Mais c'est sans doute que je ne réalise pas vraiment ce que c'est que de s'asseoir dans une fusée pour partir vers l'espace. Je le comprends avec ma raison, mais c'est quelque chose qui ne peut pas s'intérioriser avant de l'avoir ressenti.

Vous sentez-vous prêt ?
J'ai tellement pratiqué le simulateur que je connais presque par cœur ce qui va se passer. Au bout d'un moment, une habitude s'installe : c'est devenu mon quotidien de faire face à des pannes en simulateur et de me préparer pour la Station spatiale. Il ne faut pas que je perde de vue qu'au bout de tout ça il y a le vrai vol. C'est pour cela que j'ai hâte d'arriver à Baïkonour (Russie) et de voir « notre » fusée Soyouz. Le rêve attendu depuis tant d'années va se réaliser.

Pensez-vous être transformé par ce voyage ?
Quand les gens reviennent, ils ont une conscience plus environnementale et sociale. Ils voient la Terre comme un vaisseau spatial embarqué avec des ressources limitées dans le vide de l'espace. On appelle ça en anglais l'*« overview effect »* [« l'effet de la vue d'ensemble »] : une prise de recul par rapport à la condition humaine, à la fragilité de la Terre, la protection de l'environnement. *(Lire aussi p. 138.)*

Propos recueillis par O. L.

Suivez l'événement en live sur sciav.fr/pesquet



PHOTOS: ESO

Le premier feu a 800 000 ans

Les plus anciennes traces de foyer en Europe ont été découvertes dans une grotte espagnole.

PRÉHISTOIRE Cela s'est passé dans le sud de l'Espagne, près de Murcie, dans la Cueva Negra (« grotte noire ») des gorges du Rio Quipar : il y a 800 000 ans, des *Homo* y ont allumé et entretenu un feu. 165 pierres chauffées ainsi que de nombreux os d'animaux exposés à de fortes chaleurs, voire carbonisés, y ont été mis au jour par une équipe internationale. Des analyses indiquent qu'ils ont été portés à des températures de 400 à 600 °C. De telles traces de feu ont déjà été relevées en Afrique, dans des niveaux plus anciens vieux de plus de un million d'années, mais leur interprétation est controversée, car elles pourraient être dues à des feux de brousse ou à des cendres volcaniques. *« Mais pour cette grotte européenne, il est plausible que des brandons laissés par un feu de brousse aient été transportés à l'abri par des* Homo *»*, imagine le paléontologue Michael Walker, de l'université de Murcie. **R. M.**




R. BIZLEY/SPL/COSMOS - MUPANQUAT MURCIAN ASSOCIATION

Cette pierre a été exhumée dans la Cueva Negra, a été chauffée, preuve que des « Homo » ont entretenu un foyer.

Un cimetière marin dans la mer Noire

ARCHÉOLOGIE Les eaux bulgares de la mer Noire viennent de révéler des trésors sous-marins insoupçonnés, parmi lesquels 40 épaves historiques quasi intactes, dont certains types de navires jamais vus jusque-là. C'est le cas d'une sorte de caraque, un bateau de la fin du Moyen Âge caractérisé par une coque arrondie, antérieur aux caravelles. **B. A.**

3,8 millions d'années

L'âge de la plus vieille protéine

ÉVOLUTION **Elle a été trouvée dans une coquille d'œuf d'autruche du site de Laetoli, en Tanzanie. La séquence de cette protéine aurait été préservée durablement dans un climat chaud grâce aux minéraux coquilliers agissant comme des liants. Le record précédent, du collagène retrouvé sur un chameau préhistorique de l'Arctique, était de 3,5 millions d'années. R. M.**

SOURCE : BEATRICE DEMARCHI, UNIVERSITY OF YORK, ROYAUME-UNI.

Le boomerang, arme fatale

PALÉOPATHOLOGIE
Le boomerang a tué ! L'examen de blessures observées sur un squelette du XIIIe siècle, découvert en Nouvelle-Galles du Sud (Australie), démontre la capacité meurtrière des boomerangs de guerre utilisés par les populations aborigènes. Selon Michael Westeway, archéologue de l'université Griffith (Brisbane), les fractures enregistrées sur le squelette de l'homme de Kaakijta correspondent à l'impact de ces armes. B. A.



ANTIQUITY PUBLICATION LTD

Les fractures observées sur le squelette de l'homme de Kaakijta (Australie) correspondent à des blessures provoquées par un boomerang.

Voici l'ancêtre des raquettes de marche

PRÉHISTOIRE 6000 ans ! Les plus anciennes « snow boots » du monde ont été découvertes dans les Dolomites, sur le glacier de Gurgler Eisjoch, à proximité de la frontière séparant l'Italie de l'Autriche, non loin de l'endroit où fut mise au jour la célèbre « momie » d'Ötzi. Ces rudimentaires chaussures de neige, constituées d'un cadre de bois et de liens de bouleau, seront exposées à ses côtés au musée d'Archéologie de Bolzano (Italie). **B. A.**



PROVINCIA DI BOLZANO

Cette chaussure de neige a été mise au jour dans les Dolomites.



◀ **Les pièces** en cuivre sont datées de 300 à 400.



Des monnaies romaines au Japon

Cette découverte témoigne des échanges commerciaux entre le monde méditerranéen et l'Extrême-Orient.

ARCHÉOLOGIE Des monnaies romaines du IVe siècle, retrouvées sur l'île d'Okinawa (Japon) dans les ruines du château de Katsuren (XIIIe-XVe siècles), ont suscité l'émoi parmi les archéologues japonais. Quatre piécettes de cuivre datées de 300 à 400 de notre ère figuraient au nombre des vestiges collectés. Soumises à des examens aux rayons X, elles ont fait apparaître un portrait de l'empereur romain Constantin 1er (272-337), ainsi qu'un soldat armé d'une lance. *« S'il n'y a pas eu de contacts directs entre l'Occident et Okinawa, nous savons que l'île a entretenu d'intenses échanges commerciaux avec la Chine et l'Asie du Sud-Est entre le XIVe et le XIXe siècle »*, a expliqué l'archéologue Hiroki Miyagi. La Chine, elle, avait échangé avec l'Empire romain, *via* le monde parthe et l'Inde, dès le IIe siècle. À partir du VIIIe siècle, le commerce entre monde méditerranéen et Extrême-Orient est passé aux mains de marchands musulmans. *« Ces monnaies ont pu arriver* via *la Chine, avec ces commerçants »*, estime le chercheur. **B. A.**



PHOTOS : URUMA CITY EDUCATION BOARD

Le site du château de Katsuren où ont été retrouvées les monnaies.



LUND UNIVERSITY

À VOIR SUR LE NET

Visite virtuelle d'une des plus belles maisons de Pompéi

ANTIQUITÉ Faire visiter la demeure d'un des citoyens les plus riches de l'antique Pompéi telle qu'elle était il y a 2000 ans, voilà le pari réussi d'une équipe de spécialistes suédois. En combinant des données de l'archéologie traditionnelle avec celles de la technologie 3D, des chercheurs de l'université de Lund (Suède) sont parvenus à restituer l'une des plus célèbres habitations de l'illustre cité romaine. Cette maison est celle du banquier Lucius Caecilius Iucundus. **B. A.** sciav.fr/837pompei

Les saccages de mausolées condamnés

PATRIMOINE Pour la première fois, la Cour pénale internationale (CPI) de La Haye a condamné à neuf ans de prison un djihadiste malien jugé coupable de destruction de monuments historiques et religieux. Il a reconnu avoir détruit des mausolées classés au patrimoine mondial de l'humanité à Tombouctou, dans le nord du Mali, alors qu'il était responsable de la « brigade des mœurs », entre avril 2012 et janvier 2013. **B. A.**



ÇATAL HÖYÜK RESEARCH PROJECT

Taillée dans le marbre, ▶ la figurine fait 17 cm de haut et pèse 1 kg.

Une statuette de 8000 ans découverte en Turquie

NÉOLITHIQUE Cette figurine féminine finement sculptée dans du marbre blanc est vieille d'environ 8000 ans. Elle a été récemment mise au jour sur le célèbre site de Çatal Höyük, en Anatolie centrale (Turquie). Ce type de sculptures féminines du néolithique proche-oriental est à l'origine d'une abondante littérature sur la « déesse-mère », le culte de la fécondité et un matriarcat primitif. **B. A.**



▲ **Les crochets** sont datés d'environ -22 500 ans.

MASAKI FUJITA ET AL

L'hameçon est d'origine asiatique

PALÉOLITHIQUE Les premiers pêcheurs préhistoriques à l'hameçon ont été localisés sur l'île d'Okinawa (Japon). Des archéologues y ont découvert des crochets taillés dans des escargots de mer et datés d'environ -22 500 ans. Cela montre que l'île a été occupée très tôt de façon durable par des *H. sapiens* possédant une technologie perfectionnée. **R. M.**

SOURCE : MASAKI FUJITA, OKINAWA PREFECTURAL MUSEUM, JAPON.



Mon smartphone se prend pour une baguette magique



Avec l'application Orange et moi, gérez vos offres internet et mobile, dépannez-vous en cas de problème et contactez-nous facilement depuis votre mobile.

Toujours un temps d'avance pour vous rendre service.

Vous rapprocher de l'essentiel



Application disponible gratuitement sur :







L'application Orange et moi est accessible sous couverture mobile ou wifi et sur mobile ou tablette compatible. Les coûts de connexion pour le téléchargement et l'utilisation de l'application sont variables selon votre offre.

Les grands singes savent... que les autres savent

Ces primates auraient la capacité d'attribuer des intentions à leurs congénères.


CHRISTOPHE COURTEAU/NATURAGENCY

Orang-outang, bonobo et chimpanzé maîtriseraient la théorie de l'esprit, à l'instar des humains.

PRIMATOLOGIE Elle ne serait pas le propre de l'homme : des chercheurs affirment avoir démontré que la théorie de l'esprit est valable chez les grands singes. Cette théorie désigne la faculté qu'ont les hommes d'attribuer des intentions à d'autres individus. Les bonobos (*Pan paniscus*), les chimpanzés (*Pan troglodytes*) et les orangs-outangs (*Pongo abelii*) auraient cette même disposition. Des scientifiques emmenés par Christopher Krupenye, de l'université Duke (États-Unis), l'ont démontré sur 40 primates auxquels ils ont fait visionner des films mettant en scène un homme et un grand singe (en fait un homme déguisé) qui cachaient et déplaçaient des objets. En scrutant leurs réactions à l'aide d'un système de suivi du regard, ils en ont conclu que les animaux spectateurs étaient capables d'anticiper les réactions des protagonistes en fonction des informations en possession de ceux-ci. Ils savent donc conceptualiser ce que « sait » un autre, même si cette information est fausse. **A.-S. T.**


OLLI LOUKOLA/QMUL

À VOIR SUR LE NET

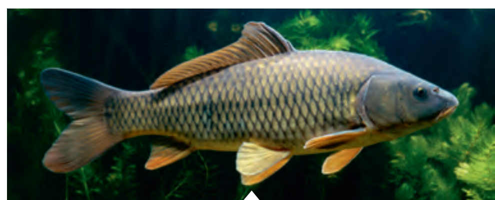
Les bourdons tirent les ficelles

ENTOMOLOGIE Des scientifiques de l'université Queen Mary de Londres (Royaume-Uni) ont découvert que certains bourdons sont capables de résoudre instinctivement un problème. Ainsi ils parviennent à tirer une cordelette pour extraire une fleur artificielle recouverte d'un liquide sucré. Et d'autres apprennent à faire de même en les regardant. **A.-S. T.**
sciav.fr/837bourdon

À ÉCOUTER

Les poissons aussi ont des accents

ICHTYOLOGIE Non seulement les poissons communiquent entre eux par divers sons et vocalisations, mais ils ont des accents différents selon les régions. C'est ce que des scientifiques britanniques de l'université d'Exeter ont constaté chez les carpes grâce à des micros placés sous l'eau. Aux vocalisations se rajoutent des claquements longs ou secs ainsi que des grondements. **J. L.**
sciav.fr/837poissons

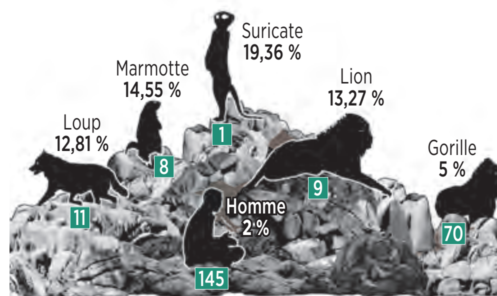

BIOSPHOTO

La carpe émet différemment les sons selon les régions.

Les pigeons fonctionnent au mérite

ORNITHOLOGIE Chez les pigeons, les leaders qui dirigent mal le vol du groupe se font vite remplacer par des individus plus compétents. Des zoologues l'ont montré en perturbant l'horloge interne de certains animaux qui perdaient ainsi 7 à 8 places dans leur positionnement pour le vol. **A.-S. T.**

SOURCE : ISOBEL WATTS, UNIVERSITY OF OXFORD, ROYAUME-UNI.



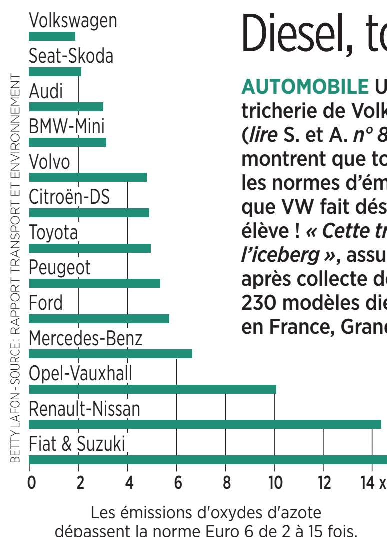
BETTY LAFON

Le suricate, roi des criminels

ÉTHOLOGIE Le plus meurtrier des mammifères est le suricate, selon une méta-analyse, qui a comparé le taux de violence létale intraspécifique chez 1024 espèces. Chez les humains, le taux atteindrait 2 %. ce qui n'est pas peu : en moyenne l'agression intraspécifique serait responsable de 0,3 % seulement de la mortalité chez l'ensemble des mammifères. **R. M.**

JOSÉ MARIA GOMEZ, UNIVERSITÉ DE GRENADE, ESPAGNE.





Les émissions d'oxydes d'azote dépassent la norme Euro 6 de 2 à 15 fois.

Diesel, tous pollueurs

AUTOMOBILE Un an après la révélation de la tricherie de Volkswagen dans les tests de pollution (*lire* S. et A. *n° 825, novembre 2015*), les enquêtes montrent que tous les constructeurs dépassent les normes d'émissions d'oxydes d'azote. Au point que VW fait désormais en la matière figure de bon élève ! *« Cette tricherie n'était que le sommet de l'iceberg »*, assure l'ONG Transport & Environnement après collecte des mesures d'émissions de 230 modèles diesel, issues des enquêtes lancées en France, Grande-Bretagne et Allemagne. R. M.



Le réchauffement dope les plantes

CLIMATOLOGIE Un doublement du CO_2 atmosphérique conduirait à une augmentation d'un tiers de la photosynthèse. Dans les régions septentrionales, les plantes stockeront plus de carbone. **L. C.**

SOURCE : UNIVERSITÉ D'EXETER, ROYAUME-UNI.

Des avions plus propres

ENVIRONNEMENT Le secteur de l'aviation civile s'est engagé le 6 octobre à entamer une politique de réduction des émissions de CO_2. Le but est de parvenir à une croissance du secteur neutre en carbone à partir de 2020. **M. N.**

Orages méditerranéens : leur formation décryptée

Le mécanisme qui produit ces violentes perturbations dans le sud-est de la France vient enfin d'être analysé.

MÉTÉOROLOGIE Il ne faut plus les appeler « orages cévenols » mais « épisodes méditerranéens ». Car Météo-France vient d'établir que ces violentes perturbations ne sont pas seulement dues à la rencontre de masses d'eau humides provenant de la Méditerranée avec les premiers reliefs des Cévennes, comme cela s'est produit dans le Gard en 2002. Grâce à des mesures physiques et à la modélisation, les chercheurs ont mis en évidence deux autres mécanismes : la création de cumulo-nimbus par l'affrontement de masses d'air au-dessus de la mer et la formation d'une bulle d'air froid dans les premières couches de l'atmosphère, obligeant l'humidité à monter en altitude où elle se transforme en pluie. Ces deux scénarios expliquent le déclenchement d'orages sur les plaines littorales en l'absence de reliefs comme à Cannes, en 2015. **L. C.**



La tempête du 11 janvier 2016 à Marseille s'apparente à un épisode méditerranéen.

L'œil de Lascar



« IL FAUT ÊTRE ARROGANT *comme l'homme pour penser que c'est nous qui avons changé le climat »*, a affirmé Nicolas Sarkozy en septembre devant une assemblée de chefs d'entreprise. **O. L.**

La plus profonde grotte inondée

GÉOLOGIE 404 mètres : c'est le record mondial de profondeur pour une grotte inondée. Le gouffre se trouve près de la ville de Hranice (République tchèque). Le record a été battu grâce à un robot d'exploration télécommandé. Il n'a interrompu sa descente que parce qu'il avait déroulé tout le fil le reliant à la surface ! L. C.



Le robot télécommandé s'est arrêté au bout du fil.

Le pancréas artificiel arrive

La commercialisation de ce dispositif externe vient d'être autorisée aux États-Unis.

ENDOCRINOLOGIE Après des essais cliniques concluants, l'agence américaine du médicament a autorisé la commercialisation, pour les adultes, du premier pancréas artificiel. Le MiniMed de l'entreprise irlandaise Medtronic n'est pas une prothèse implantée dans le corps du patient mais un boîtier externe à accrocher à la ceinture. Ce dispositif est destiné à pallier la perte de sécrétion d'insuline chez les diabétiques de type 1 dont le pancréas est défaillant. Il est composé d'un capteur sous-cutané mesurant le niveau de glucose toutes les cinq minutes et d'une pompe qui perfuse en cas de besoin de l'insuline à travers une aiguille. Un écran semblable à celui d'un smartphone affiche les taux de glycémie et d'insuline. Plus besoin donc de prélever manuellement une goutte de sang et de l'analyser, ni de s'injecter de l'insuline (sauf pendant les repas où la dose doit être adaptée aux glucides ingérés). Le dispositif est en cours d'évaluation chez l'enfant. **L. L.**


MEDTRONIC

Un capteur sous-cutané relié à un boîtier mesure toutes les 5 minutes le glucose du patient et une pompe injecte de l'insuline en cas de besoin.

À VOIR SUR LE NET


HARVARD MEDICAL SCHOOL

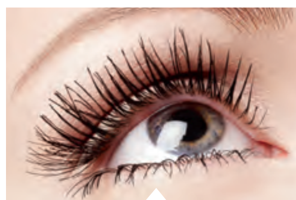
La résistance aux antibiotiques en vidéo

PHARMACIE Des chercheurs de Harvard ont réalisé une vidéo montrant l'apparition des résistances aux antibiotiques. Ils ont filmé le développement de colonies de bactéries *E. coli* au contact de deux antibiotiques en concentration croissante. En dix jours, les souches résistent à des doses mille fois supérieures à celles initialement fatales. **N. C.**

sciav.fr/837antibiotiques

La fibromyalgie se voit dans l'œil

PATHOLOGIE Le premier test pour diagnostiquer la fibromyalgie pourrait être un test ophtalmologique. Cette maladie complexe caractérisée par un état douloureux musculaire chronique se définit comme une atteinte des fibres de l'organisme. L'équipe de l'hôpital universitaire Miguel Servet de Saragosse (Espagne) a montré que celles du nerf optique sont également concernées : même dans les formes modérées, l'épaisseur de la rétine diminue. Une observation qui permet d'imaginer une technique de diagnostic rapide, peu coûteuse et non invasive. **S.R.-M.**


BSIP

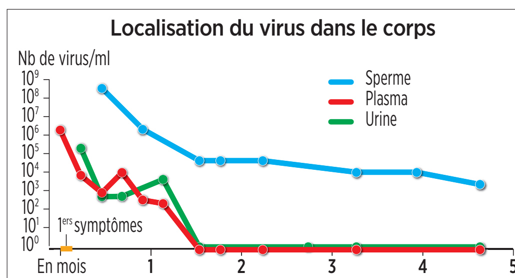
L'épaisseur de la rétine diminue en présence de la maladie.

Les bracelets connectés ne font pas perdre de poids

DIÉTÉTIQUE Les bracelets connectés n'aideraient pas à perdre du poids, bien au contraire ! Après deux ans de régime et d'entraînement sportif, les participants à une étude menée par l'université de Pittsburgh (États-Unis) avaient perdu 3,5 kg (sur un poids de départ moyen de 96 kg) pour ceux équipés d'un traqueur d'activité, contre 5,9 kg pour ceux qui n'en avaient pas. **F. G.**

Zika pénètre les spermatozoïdes

VIROLOGIE Pouvant persister dans le sperme jusqu'à six mois après l'infection, le virus Zika peut même se retrouver à l'intérieur des spermatozoïdes. Un fait étonnant lorsque l'on sait que d'autres virus sexuellement transmissibles, tel le VIH, ne pénètrent pas au sein du spermatozoïde. Le constat, établi sur un patient de 32 ans, a révélé que le virus restait présent à l'intérieur d'environ 3,5 % des spermatozoïdes quand il avait disparu du sang et de l'urine. **L. L.**



BETTY LAFON

Un mois et demi après l'infection, le virus reste présent dans les spermatozoïdes.

SOURCE : JEAN-MICHEL MANSU, CHU TOULOUSE, TOULOUSE.

ENTREPRISES, COLLECTIVITÉS, FINANCEZ VOS BESOINS DE RECHERCHE,

DANS LES DOMAINES DES PROCÉDÉS TECHNOLOGIQUES, DES SCIENCES DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA VIE, DES SCIENCES HUMAINES ET SOCIALES



Dans le cadre d'un partenariat entre un étudiant, son laboratoire d'accueil et vous, l'ADEME vous aide à produire des connaissances nouvelles et renforce les capacités humaines de votre R&D en finançant un doctorant pendant 3 ans !

ENSEMBLE POUR CONSTRUIRE UN MONDE PLUS DURABLE

www.ademe.fr/theses

EN BREF

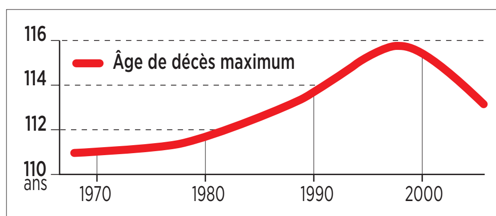
ÉRADICATION. L'Amérique est le premier continent au monde à avoir éradiqué la rougeole a annoncé l'Organisation panaméricaine de la santé. **BÉNÉFIQUES NAUSÉES.** D'origine inconnue, les nausées qui accompagnent souvent les débuts de grossesse seraient associées à un moindre risque de fausse couche, avancent des médecins américains. **LOISIR THÉRAPEUTIQUE.** À l'aide d'un modèle artificiel du rein, des médecins américains ont montré que les montagnes russes favorisent l'élimination des calculs rénaux.

Ces enfants infectés qui n'ont pas le sida

INFECTIOLOGIE **Un enfant séropositif sur dix ne contracte pas le sida. Et ce, en l'absence de tout traitement. Des médecins de l'université d'Oxford (Royaume-Uni) ont analysé le sang de 170 enfants africains âgés de moins de 5 ans et infectés par le virus : ceux chez qui la maladie n'évolue pas possèdent un système immunitaire qui semble ignorer le VIH alors qu'il est pourtant bien présent dans leur sang. Peut-être une nouvelle piste dans l'approche et le traitement de la maladie.** **H. R.**

PHANIE

◄ **La présence du VIH** n'entraîne pas toujours la maladie.



BETTY LAFON

La courbe de tendance de l'âge maximal au décès décroît depuis la fin des années 1990.

L'espérance de vie des centenaires décroît

LONGÉVITÉ L'analyse des données démographiques mondiales montre que l'espérance de vie des centenaires n'augmente plus depuis les années 1990. En réalité, l'espérance de vie continue de croître dans les 40 pays couverts par l'étude mais seulement jusqu'à 100 ans, âge à partir duquel le taux de survie chute considérablement. **S. S.**

SOURCE : XIAO DONG ALBERT EINSTEIN COLLEGE OF MEDICINE, ÉTATS-UNIS.

Les aveugles calculent avec leurs yeux

COGNITION Si les aveugles de naissance ont de meilleures aptitudes en calcul mental, c'est peut-être parce que chez eux, une partie des aires visuelles du cerveau servent à cette tâche, viennent de révéler des travaux d'imagerie cérébrale. La sollicitation de cette région est proportionnelle à l'effort de calcul demandé. **P. K.**

SOURCE : SHIPRA KANJLIA, JOHNS HOPKINS UNIVERSITY, BALTIMORE, ÉTATS-UNIS.

QUESTIONS À

Robert Dantzer

Psychobiologiste au Centre anticancéreux MD Anderson à l'université du Texas (Houston).

MDACC

Un vaccin contre la dépression serait envisageable

Le premier colloque sur l'immunopsychiatrie en France s'est tenu en octobre à l'Institut Pasteur, à Paris.

Peut-on imaginer qu'on dispose, un jour, d'un vaccin contre la dépression?

Oui! Sur la base de nos résultats sur des globules blancs dans la récupération des dépressions induites par une inflammation, un tel vaccin est envisageable dans le futur. Si nos travaux conduits chez la souris sont applicables à l'homme, on pourra imaginer un vaccin préventif chez les personnes à risque.

Comment avez-vous découvert cette piste inflammatoire?

Nous avons constaté que les symptômes de la dépression survenaient également lors d'un épisode inflammatoire dans le corps. En travaillant sur des souris pour mieux comprendre ce qui se passait chez les patients cancéreux, nous avons trouvé que le cerveau répondait à l'inflammation par une production de facteurs neurotoxiques. Il suffisait de bloquer leur production ou leur action pour empêcher le développement de la dépression!

Et chez l'homme?

On sait déjà que les traitements biologiques qui ont pour but de traiter l'inflammation périphérique chez des patients souffrant de maladie rhumatoïde, de psoriasis ou d'autres affections inflammatoires, agissent également sur la fatigue et sur l'humeur, bien avant que la maladie ne soit enrayée. Des essais cliniques montrent que si on traite des patients dépressifs, présentant une faible inflammation chronique, on améliore leurs symptômes.

Propos recueillis par E. S.



Les écailles du poisson sont ressenties par le doigt grâce à des vibrations.

La tablette qui offre la sensation du toucher

Un dispositif donne l'illusion de sentir des textures différentes.

NUMÉRIQUE Faire sentir le relief d'une image numérique sur laquelle on glisse le doigt, c'est la prouesse réalisée par une équipe pluridisciplinaire rattachée à l'université Lille-I (Villeneuve-d'Ascq, Nord). Le dispositif est constitué d'une tablette avec un écran 5 ou 7 pouces recouvert d'une vitre en verre bordée d'actionneurs piézoélectriques. En fonction de la position du doigt — repérée par un capteur capacitif —, la surface vibre à très haute fréquence (plus de 60 000 kHz) et à très faible amplitude (1 µm). En soi cette vibration est imperceptible mais elle a pour effet de plus ou moins faciliter le glissement du doigt. En jouant sur les alternances « bloquant-glissant », on donne l'illusion de toucher des textures différentes.
Pour la démonstration, les chercheurs ont coopéré avec la bibliothèque municipale de Lille et l'auteur-illustrateur Dominique Maes afin de concevoir un livre « haptique », autrement dit un e-book augmenté avec la sensation du toucher. **J. C.**

La voiture sourit, les piétons traversent

TRANSPORTS Pour que, dans le futur, les piétons aient le moyen de s'assurer avant de traverser que les voitures autonomes les auront bien « vus », la société suédoise Semcon a imaginé un système d'interaction visuelle. Le véhicule repère d'abord les piétons qui dirigent les yeux vers lui, puis un écran placé sur la calandre affiche un sourire indiquant que la voiture va bien les laisser passer. **A. D.**



Le sourire sur la calandre de la voiture autonome indique qu'elle laisse traverser les piétons.

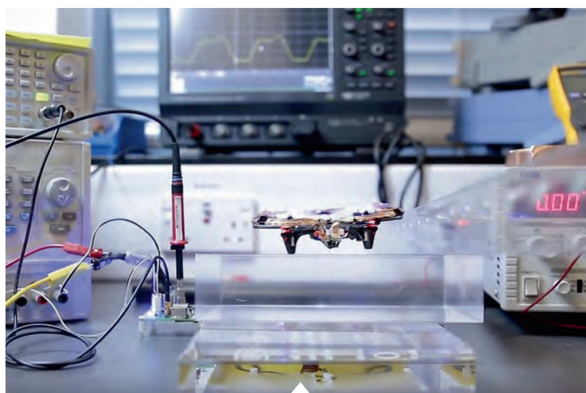
SUR LE NET

Le premier enregistrement musical électronique restauré

INFORMATIQUE Des chercheurs néo-zélandais de l'université de Canterbury ont restauré le premier enregistrement musical produit par un ordinateur… en 1951. Il avait été réalisé par Alan Turing, l'un des pères fondateurs de l'intelligence artificielle. Celui-ci était parvenu à reproduire trois mélodies : *God Save the Queen*, l'hymne britannique, *Baa Baa Black Sheep*, une comptine, et *In the Mood*, le fameux swing arrangé par Glenn Miller. **O. H.**
sciav.fr/837turing

Un drone vole sans batterie

AÉRONAUTIQUE Un laboratoire de l'Imperial College de Londres (Royaume-Uni) a réussi à faire voler un drone à moteurs électriques dépourvu de batterie. Ce quadricoptère est alimenté à distance grâce à un émetteur sans fil qui recharge ses moteurs par induction électromagnétique. Pour l'heure, il doit rester à moins de 12 centimètres de l'émetteur. À terme, de tels drones pourraient voler sans limite d'autonomie. **F. G.**



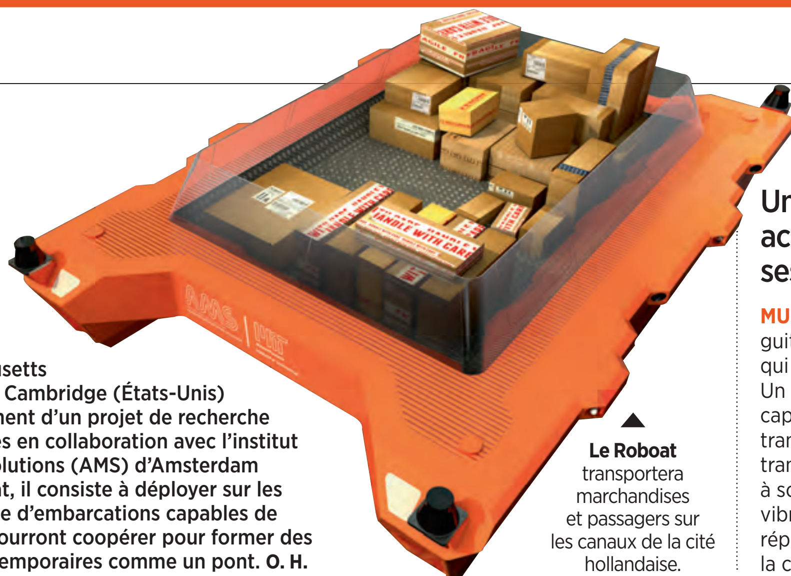
Le quadricoptère est alimenté à distance par un émetteur sans fil.

Le plus gros moteur d'avion au monde

AÉRONAUTIQUE Le constructeur américain General Electric vient de réaliser les premiers essais au sol du GE9X, le plus gros moteur d'avion civil au monde. Sa soufflante — grosse hélice située à l'entrée du réacteur — mesure 3,35 m de diamètre contre 3,16 m pour celle du moteur de l'Airbus A380. Le GE9X équipera le concurrent de l'Airbus A350, le Boeing 777X, qui devrait être livré dès 2020. **O. H.**

Des bateaux autonomes à Amsterdam

NAVIGATION **Le Massachusetts Institute of Technology de Cambridge (États-Unis) vient d'annoncer le lancement d'un projet de recherche sur des bateaux autonomes en collaboration avec l'institut Advanced Metropolitan Solutions (AMS) d'Amsterdam (Pays-Bas). Baptisé Roboat, il consiste à déployer sur les canaux de la ville une flotte d'embarcations capables de se déplacer seules. Elles pourront coopérer pour former des infrastructures flottantes temporaires comme un pont. O. H.**



SENSEABLE CITY LAB

▲ **Le Roboat** transportera marchandises et passagers sur les canaux de la cité hollandaise.

Une guitare acoustique produit ses propres effets

MUSIQUE Yamaha a dévoilé une guitare folk, la Transacoustic, qui produit ses propres effets. Un capteur piézoélectrique capte les vibrations et transmet le signal à un transducteur qui transforme à son tour l'électricité en vibrations modifiées. Elles sont répercutées directement par la caisse de la guitare. **A. D.**

Le train roulera à l'hydrogène

ÉNERGIE Alstom a présenté en Allemagne un train régional « zéro émission ». Baptisé Coradia iLint et prêt à être commercialisé, il fonctionne avec une pile à combustible, dans laquelle de l'hydrogène stocké à bord se combine à l'oxygène de l'air pour produire de l'électricité, ne rejetant que de l'eau. Le iLint dispose d'une autonomie maximale de 800 km à une vitesse de 140 km/h. **O. H.**

800 grammes

La masse à partir de laquelle un drone doit être enregistré

RÉGLEMENTATION **Le Sénat a adopté le 13 octobre une proposition de loi qui obligera les propriétaires de drones dépassant 800 g à les immatriculer et à les équiper d'un dispositif de signalement électronique et lumineux. Mise en application : janvier 2019. M. N.**

« Spectacles », l'alternative aux Google Glass

OBJETS CONNECTÉS Le spécialiste américain de messagerie Snap Inc, ex-Snapchat, vient de dévoiler les « Spectacles », des lunettes de soleil connectées plus simples que les Google Glass. Elles sont équipées d'une mini-caméra embarquée dans la monture qui n'a qu'une seule fonction : réaliser de courtes vidéos (jusqu'à 30 secondes) et les poster sur Snapchat grâce à un smartphone. Elles devraient être commercialisées à partir de cet automne autour de 130 €. **O. H.**





SNAP INC

◀ **Les vidéos** réalisées avec les lunettes sont postées sur Snapchat avec un smartphone.

Les fusées décolleront depuis le ciel

Portées par un avion géant, les fusées Pegasus pourront être mises à feu depuis la stratosphère.

ASTRONAUTIQUE L'entreprise spatiale américaine Orbital ATK (qui a développé notamment le lanceur Antarès et la capsule CYGNSS utilisée pour ravitailler la Station spatiale internationale) et la société Vulcan Aerospace, également américaine, se sont alliées pour lancer des fusées depuis la stratosphère. La première fournira des fusées de type Pegasus, tandis que la seconde réalisera l'avion capable de les emmener jusqu'à la stratosphère. Celui-ci affichera près de 120 mètres d'envergure et, grâce à six moteurs, pourra emporter dans les airs des charges de presque 590 tonnes avant de revenir sur Terre.



VULCAN AEROSPACE

D'une envergure de 120 m, l'avion pourra transporter 590 tonnes de charge (illustration) dans la strastosphère avant de revenir sur Terre.

Des lancements de ce type se font déjà, à une échelle plus modeste, depuis l'atmosphère à partir d'un avion gros-porteur. Le prochain, programmé pour le 10 novembre, devrait déployer un satellite météorologique de la Nasa faisant partie de la constellation CYGNSS. **E. L.**

MORT CLINIQUE ou arrêt cardio-respiratoire. C'est l'arrêt de la circulation du sang et de la respiration. En l'absence de réanimation ou si celle-ci est trop tardive, il y a un risque majeur de séquelles neurologiques ou de décès.

MORT CÉRÉBRALE Coma avec absence d'activité cérébrale (EEG plat), destruction complète du cerveau et du tronc cérébral (qui contrôle les fonctions vitales). Cet état est irréversible.

Voyage aux confins de la conscience

Des scientifiques tentent de reproduire en laboratoire des « expériences de mort imminente » afin de percer le secret du fonctionnement du cerveau. Nouvelles découvertes sur cet état limite qui peut survenir plus souvent qu'on ne le pense.

Dossier réalisé par
Elena Sender

C'est en traversant la rue que Danielle a été heurtée de plein fouet par un tramway. « *Ce fut d'abord un trou noir,* raconte-t-elle, *puis j'étais dans un tunnel attirée par une lumière merveilleuse, un amour inconditionnel. J'ai ressenti un bien-être jamais éprouvé. Des êtres lumineux m'ont accueillie, ils communiquaient sans parler.* » Trente-cinq ans plus tard, cette pétillante professeure de yoga n'a rien oublié. « *J'ai eu un choix à faire : partir ou revenir. Puis soudain je me suis vue d'en haut, allongée sur un lit. Je voyais la salle blanche et les gens habillés en vert. Je me suis réveillée dans une chambre d'hôpital.* »

Visions, tunnel, lumière, décorporation, paix, rencontre avec des défunts... Danielle a vécu ce que l'on appelle une « expérience de mort imminente » (EMI), médiatisée par le psychiatre américain Raymond Moody dans les années 1970 à la suite de récits de patients récupérant d'un coma. Bruce Greyson, professeur émérite de psychiatrie à l'université de Virginie, aux États-Unis, a, lui, créé en 1983 une échelle de mesure en 16 questions *(voir p. 43)* qui, à partir de sept réponses positives, valide l'EMI. Aujourd'hui il définit celle-ci comme « *un événement psychologique profond avec des éléments transcendantaux et mystiques survenant chez des individus proches de la mort* ». Sa fréquence serait de 2 à 12 % chez les personnes victimes d'arrêt cardiaque selon une méta-analyse de 2008. Est-ce la réaction d'un cerveau en détresse ou la preuve de la séparation entre le corps et l'esprit?

Une poignée de chercheurs s'est mis en tête de percer le mystère. Pour ce faire, Danielle a rendez-vous avec l'une de ces équipes mondialement connues, le Coma Science Group ▶

Tunnel, lumière, décorporation... Si de nombreux témoins rapportent avoir eu ces visions lors d'événements traumatiques, d'autres affirment les avoir ressenties lors de l'endormissement, d'une méditation, d'une migraine... ou d'un orgasme.


E. DUDOIT

INTERVIEW

ÉRIC DUDOIT
PSYCHOLOGUE CLINICIEN, COFONDATEUR DE L'UNITÉ DE SOINS ET DE RECHERCHE SUR L'ESPRIT, HÔPITAL DE LA TIMONE, À MARSEILLE

« L'EMI est un mythe apaisant »

Comment utilisez-vous les expériences de mort imminente (EMI) dans votre service de soins palliatifs ?
L'accompagnement des personnes en fin de vie pose la difficulté de mettre en mots la mort à venir. Avec l'autorisation de nos tutelles, nous avons créé en 2005, avec le Dr Geneviève Botti et la sophrologue Éliane Lheureux, un dispositif de prise en charge spirituelle de ces patients. Notre idée est d'utiliser les croyances populaires ou les mythes sur la mort pour susciter des échanges. Nous avons donc choisi les récits d'expériences d'EMI comme mythe contemporain associé à la fin de vie car il a été montré que lire ces récits diminuait l'anxiété et la dépression. Ce support permet aux patients d'élaborer une « fiction » personnelle sur son devenir. Lorsqu'ils nous confient qu'ils ont peur de mourir, nous leur proposons donc des informations au sujet des EMI et une discussion s'engage si cela les intéresse.

Est-ce efficace ?
Nous avons déjà aidé ainsi une cinquantaine de patients. Le simple fait d'en parler permet de mettre en place des représentations dans leur esprit, ce qui est infiniment moins angoissant que de n'en avoir aucune. Notre but n'est pas d'endormir les patients avec des contes mais de les aider à cheminer, à s'apaiser.

Est-ce audible dans une société laïque comme celle la France ?
Dans notre unité de soins, nous nous sommes demandé comment traiter de la spiritualité sans tomber dans l'écueil de la religiosité et avons abouti à la conclusion que pour soigner, apporter de l'apaisement, il fallait du beau, du bien-être et du sacré. La dimension spirituelle d'un être humain est, selon nous, la capacité à dire quelque chose de sa perception. ■

Propos recueillis par E. S.



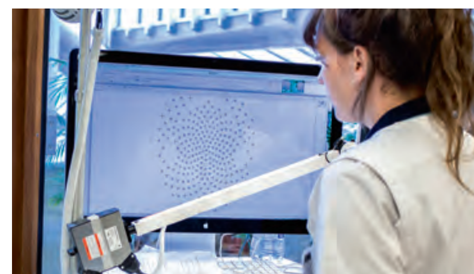
PHOTOS : JULIEN DE WILDE/REPORTERS POUR SCIENCES ET AVENIR

(CSG) du Giga Research au CHU de Liège (Belgique) dirigé par le professeur Steven Laureys *(lire S. et A. n° 777, novembre 2011)* qui lance une nouvelle étude unique en son genre : faire revivre une EMI sous hypnose. Charlotte Martial, aspirante doctorante du Fonds de la recherche scientifique au CSG, installe Danielle sur le fauteuil de consultation du Pr Marie-Élisabeth Faymonville, chef du service d'algologie-soins palliatifs au CHU de Liège, experte en hypnose médicale. Puis elle fixe sur le crâne de la volontaire un casque d'électro-encéphalogramme (EEG) doté de 256 électrodes qui va enregistrer l'activité du cortex cérébral *« afin de détecter les zones du cerveau impliquées »*, explique Charlotte Martial.
Marie-Élisabeth Faymonville fait tout d'abord raconter à la patiente son EMI avant de l'inviter à se concentrer sur un point de la pièce. D'une voix enveloppante, elle insiste sur les sensations agréables, Danielle semble s'endormir. Puis l'hypnothérapeute la guide en passant en revue un souvenir heureux avant, pas à pas, de retracer le jour de l'accident, les visions, *« cette sensation de présence, cette façon différente de communiquer »*... Danielle est immobile, le corps détendu. Puis, au bout de vingt minutes, la thérapeute la ramène dans le présent. *« Vous allez reprendre contact avec ici et maintenant. »* Danielle revient à elle, groggy. *« Je ne vous entendais plus, j'étais ailleurs »*, reconnaît-elle, ajoutant : *« J'ai retrouvé les sensations corporelles de l'EMI, en moins intenses. »* Charlotte Martial lui fait alors remplir des questionnaires qui seront complétés ultérieurement par l'analyse de l'EEG.

Des cas relatés dans toutes les cultures

Ainsi saura-t-on — peut-être — ce qui se joue dans le cerveau des « expérienceurs », comme les appellent les experts du CSG, et dont les témoignages semblent avoir existé de tout temps. Des chercheurs ont en effet analysé de possibles expériences d'EMI historiques et mystiques dans les anciennes civilisations. Selon Philippe Charlier, médecin légiste et anthropologue, *« le premier cas de ces récits en Europe daterait de 1740, rapporté par un médecin militaire du nord de la France au sujet d'un patient, victime d'une syncope. »* L'expérience serait, de plus, universelle. *« Les EMI surviennent dans toutes les cultures et religions,*







Une expérience de mort imminente sous hypnose menée par le Pr Marie-Élisabeth Faymonville au CHU de Liège (Belgique). Le cerveau de la patiente est monitoré par EEG, sous le contrôle de Charlotte Martial, du Coma Science Group.

note Birk Engmann, psychiatre et neurologue allemand. *Mais leur contenu varie. En Inde, les récits rapportent l'apparition de stigmates sur le corps et la rencontre avec des divinités.* » « *Au Maghreb, certains récits décrivent plutôt une porte qu'un tunnel, et en Russie il semblerait qu'il y ait davantage d'EMI négatives, avec des visions terrifiantes* », ajoute Steven Laureys. Néanmoins, ces différences, anecdotiques pour la plupart, restent à étudier.

L'EMI serait-elle donc un ensemble de visions interprétées par le cerveau selon ses traditions ? En effet, « *le cerveau a toujours besoin de construire une histoire cohérente avec ce qu'il perçoit* », commente Vanessa Charland, chargée de recherche au FNRS et neuropsychologue au CSG. Depuis trente ans, de nombreuses hypothèses neurobiologiques ont tenté d'expliquer rationnellement l'EMI. En 1996, le psychiatre britannique Karl Jansen montre, par exemple, que ses caractéristiques peuvent être provoquées par l'injection de kétamine, un anesthésiant. Un an après, James Whinery, un professeur de chimie américain, la rapproche des sensations vécues par les pilotes à l'entraînement en centrifugeuse, lorsque le sang quitte le cerveau jusqu'à la syncope. En 1994, Thomas Lempert, de l'université Humbolt (Allemagne), induit des syncopes chez 42 adultes sains qui témoignent alors de visions de type EMI dont la rencontre avec des défunts. En Suisse, le neurologue Olaf Blanke, révèle, lui, en 2002, qu'il a provoqué des sensations intenses de décorporation chez une patiente épileptique par stimulation cérébrale du cortex temporo-pariétal droit. À leur suite, l'équipe de Steven Laureys a déjà observé l'EEG ou l'imagerie de cerveaux de volontaires pendant une syncope ou une injection de kétamine (*lire p. 42*). Ainsi, le « cerveau EMI » se dessine. « *Nous savons que la zone temporo-pariétale gauche s'active lorsque vous sentez la présence de quelqu'un*, commente le scientifique. *L'absence de douleur et la sensation de bien-être généralisé sont peut-être liées à l'activité du cortex cingulaire antérieur, alors que la sensation d'unité cosmique correspond aux zones pariétales postérieures.* »

« Le cerveau a toujours besoin de construire une histoire cohérente avec ce qu'il perçoit »

Vanessa Charland, neuropsychologue, Coma science Group, Liège, Belgique

Des EMI vécues par des personnes en arrêt cardiaque

Reste à expliquer comment les victimes d'arrêt cardiaque peuvent vivre une EMI alors que leur activité cérébrale est considérée comme inexistante. Cela se produit-il vraiment pendant l'arrêt ? « *Personne n'a pu encore le démontrer* », souligne Steven Laureys. C'est pourtant bien ce que compte établir Samuel Parnia, professeur assistant de médecine de l'université Stony Brook de New York (États-Unis) avec l'étude AWARE II, qui associe une dizaine de centres en Grande-Bretagne et aux États-Unis. Pour ce faire, des médecins volontaires se tiennent prêts à équiper les victimes d'arrêt cardiaque d'un appareil de mesure d'EEG portatif et d'une spectroscopie dite à proche infrarouge qui mesure l'oxygénation du cerveau, afin, ensuite, de corréler ces mesures aux éventuels récits des survivants. « *Il faut qu'on sache ce que devient la conscience lorsque le cœur s'arrête et que le cerveau n'est plus irrigué* », martèle Samuel Parnia. ▶



Professeur de neurologie, Steven Laureys a acquis une renommée mondiale pour ses recherches sur le cerveau et le coma.

BELPRESS/ANDIA

STEVEN LAUREYS

DIRECTEUR DU COMA SCIENCE GROUP (CSG) AU CHU DE LIÈGE (BELGIQUE)

« J'ai tenté de vivre moi-même cette expérience limite »

Vous avez cherché à déclencher une expérience de mort imminente (EMI) sur vous-même. Pourquoi ?
Pour comprendre ce que mes patients ont vécu et vivent à nouveau lors des expériences que je mène dans mon laboratoire. Je suis d'abord monté dans une centrifugeuse utilisée pour la formation des pilotes car ceux-ci rapportent parfois avoir eu alors une vision en tunnel, la rétine n'étant plus irriguée. Résultat : je suis « tombé dans les pommes » ! Ensuite, à Londres, je me suis fait administrer de la psilocybine (champignons hallucinogènes) dans un appareil à imagerie par résonance magnétique (IRM). J'ai eu l'impression de ne plus exister : mon *ego* a fondu dans une immense sensation de fusion. Je me suis aussi isolé dans une chambre anéchoïque (sourde) où j'ai halluciné, entendu des enfants et vu des ombres. Enfin, en réalité virtuelle, j'ai vu mon avatar quitter mon corps, créant une intense impression de décorporation. Sans avoir connu une EMI complète, je sais donc désormais ce qu'est un état modifié de conscience.

Comment étudiez-vous l'EMI en laboratoire ?
Pour une raison ou une autre, notre cerveau « dysfonctionne » à un moment donné mais possède encore une certaine activité qui déclenche une EMI. Outre le fait d'essayer de le provoquer à nouveau sur des personnes ayant déjà vécu une EMI, par syncope, injection de drogue ou hypnose *(lire p. 40)*, notre équipe a lancé une analyse des récits. Dans les témoignages recueillis (plus de 450 à ce jour), 90 % disent s'être sentis incroyablement bien, 80 % sont sortis de leur corps, 70 % parlent de lumière, 25 % ont vu leur vie défiler et des êtres chers. Ces récits varient-ils selon la cause ? L'analyse informatique du langage devrait permettre de le découvrir et peut-être d'affiner l'échelle de Greyson qui valide l'EMI en 16 critères *(lire ci-contre)*.

Des scientifiques estiment que conscience et cerveau seraient indépendants, qu'en pensez-vous ?
Il est remarquable de tester cette hypothèse. Il faut cependant en accepter les résultats négatifs, comme dans l'étude AWARE I *(lire ci-contre)* qui n'a pas montré de « décorporation » réelle chez les patients. D'autres auteurs — y compris des médecins — sont, eux, tombés dans la croyance, évoquant l'existence de l'au-delà. On ne peut discuter en l'absence de fondement scientifique.

Propos recueillis par E. S.

▶ Lors de sa première étude AWARE I en 2014, des médecins britanniques, américains et autrichiens ont interrogé des survivants d'arrêt cardiaque sur leurs souvenirs de la réanimation. Mieux, « *pour tester l'hypothèse de la décorporation, nous avions caché en hauteur et au sol dans différentes salles de nos hôpitaux respectifs des objets portant des symboles* », raconte Samuel Parnia. Avec l'idée que si l'esprit quitte le corps, il pourra rapporter avoir vu ces objets ! Ce qui n'est encore jamais advenu. Sur 330 survivants, 140 ont répondu au questionnaire mais aucun n'a vu d'objet caché. Cependant « *9 % ont vécu une EMI validée* », atteste le chercheur. Parmi eux, un homme dit avoir observé la scène depuis le coin supérieur de la chambre et entendu deux bips. Une indication de temps, selon Samuel Parnia, puisque « *les bips étaient espacés de 3 minutes* ». Sa conclusion : une conscience existerait alors que le cerveau est en mort clinique (*voir lexique p. 38*). « *C'est pourquoi je préfère appeler l'EMI une "actual death experience" (expérience de mort réelle).* » Et d'encourager une modification des pratiques médicales : « *Il faut réanimer les patients plus longtemps, avec des technologies plus modernes* ».

Un débat alimenté par trois approches différentes

De quoi faire réagir Steven Laureys : « *Dire que les gens sont conscients quand ils sont "morts" sème une confusion dangereuse ! Car il ne faut pas confondre "mort clinique" — qui n'est pas la mort — et "mort cérébrale", qui l'est réellement. Avec de telles allégations, les familles risquent de refuser le prélèvement d'organes de leurs proches décédés, alors que le temps est compté.* » Une critique qui n'arrête pas Samuel Parnia. « *Soit il existe une conscience insoupçonnée qui nécessite une très faible activité du cerveau, soit la conscience peut exister indépendamment du corps* », insiste-t-il. C'est ce que défend aussi Jean-Jacques Charbonier, anesthésiste-réanimateur à Toulouse qui, après avoir, lui aussi, rencontré beaucoup de cas d'EMI dans sa pratique estime aussi que la conscience serait délocalisée. « *Si cette hypothèse se confirme*, explique-t-il, *l'existence de cette conscience extraneuronale ne serait plus limitée à une vie terrestre puisqu'elle serait encore là après la mort du corps. Cette vision apaisante de la mort permet de mieux surmonter les douleurs du deuil.* » Pour poursuivre sa quête, le médecin travaille désormais au bloc opératoire avec un médium...

Le débat semble donc bien triangulaire. « *Il y a comme trois clans*, déplore la neuropsychologue Vanessa Charland du CSG. *Les scientifiques opposés à ces recherches qui qualifient l'étude des EMI de "pseudo-scientifique" ; les "croyants" qui pensent détenir la preuve de l'au-delà ; et nous autres, taxés de "matérialistes", qui tentons de comprendre ces expériences et le fonctionnement cérébral associé.* » La recherche des « matérialistes » est pourtant d'autant plus pertinente que, selon les récits recueillis par le CSG, 30 % des EMI ne surviennent pas en état de mort imminente. « *Certains l'ont vécu à l'endormissement ou au réveil, d'autres lors d'une méditation, d'une migraine et même pendant un orgasme !* », rapporte la neuropsychologue. Un état de conscience qui nous concernerait donc tous.

Une protection face à un événement trop intense

Pour l'heure, Charlotte Martial a récupéré les tracés EEG de Danielle. Elle s'attend à observer pendant l'EMI sous hypnose, une activité accrue au niveau « *de la jonction temporo-pariétale, liée aux expériences de décorporation.* » Ainsi qu'au niveau du lobe temporal, lié aux expériences mystiques, mais aussi dans les aires liées aux émotions positives. Pour le CSG, ces données étayent l'hypothèse que l'EMI serait bien le fruit d'une activité cérébrale. Dans quel but ? « *Probablement pour protéger, prendre ses distances par rapport à un événement trop intense*, explique Vanessa Charland. « *J'aimerais qu'on m'explique ce que j'ai vécu*, s'enthousiasme Danielle. *Il faudrait ensuite savoir le déclencher car cette expérience fabuleuse pourrait aider à traiter l'anxiété ou la dépression.* » ■ ▶

ÉCHELLE DE GREYSON

7 critères valident une EMI

L'échelle de l'expérience de mort imminente (EMI) mise au point en 1983 par Bruce Greyson, professeur émérite de psychiatrie à l'université de Virginie (États-Unis), pose 16 questions relatives au vécu de l'« expérienceur ». Au moins 7 réponses positives valident une EMI. Elle ne tient cependant pas compte des EMI à contenu négatif (expérience cauchemardesque).

- ☐ Le temps semblait-il s'accélérer ou ralentir ?
- ☐ Est-ce que vos pensées étaient accélérées ?
- ☐ Des scènes de votre passé vous sont-elles revenues ?
- ☐ Soudainement vous a-t-il semblé tout comprendre ?
- ☐ Avez-vous ressenti un sentiment de paix ou de bien-être ?
- ☐ Avez-vous ressenti un sentiment de joie ?
- ☐ Vous êtes-vous senti en harmonie ou communion avec l'Univers ?
- ☐ Avez-vous ou vous êtes-vous senti entouré par une lumière brillante ?
- ☐ Vos sensations étaient-elles plus intenses que d'habitude ?
- ☐ Sembliez-vous conscient de choses se déroulant ailleurs comme lors d'expériences télépathiques ?
- ☐ Avez-vous vu des scènes du futur ?
- ☐ Vous êtes-vous senti séparé de votre corps ?
- ☐ Vous a-t-il semblé entrer dans un autre monde, immatériel ?
- ☐ Vous a-t-il semblé rencontrer une présence ou un être mystique, entendu une voix non identifiable ?
- ☐ Avez-vous vu des esprits de défunts ou religieux ?
- ☐ Êtes-vous allé à une frontière ou un point de non-retour ?

APPEL À TÉMOINS

Si vous avez vécu une EMI et désirez participer aux études du Coma Science Group, vous êtes invité(e) à entrer en contact avec eux à l'adresse suivante : coma@chu.ulg.ac.be

Le cerveau dans tous ses états

Relaxation, méditation, hypnose, EMI... La conscience, caractérisée par la fréquence des ondes cérébrales, peut être modifiée à volonté, avec des bénéfices pour la santé.

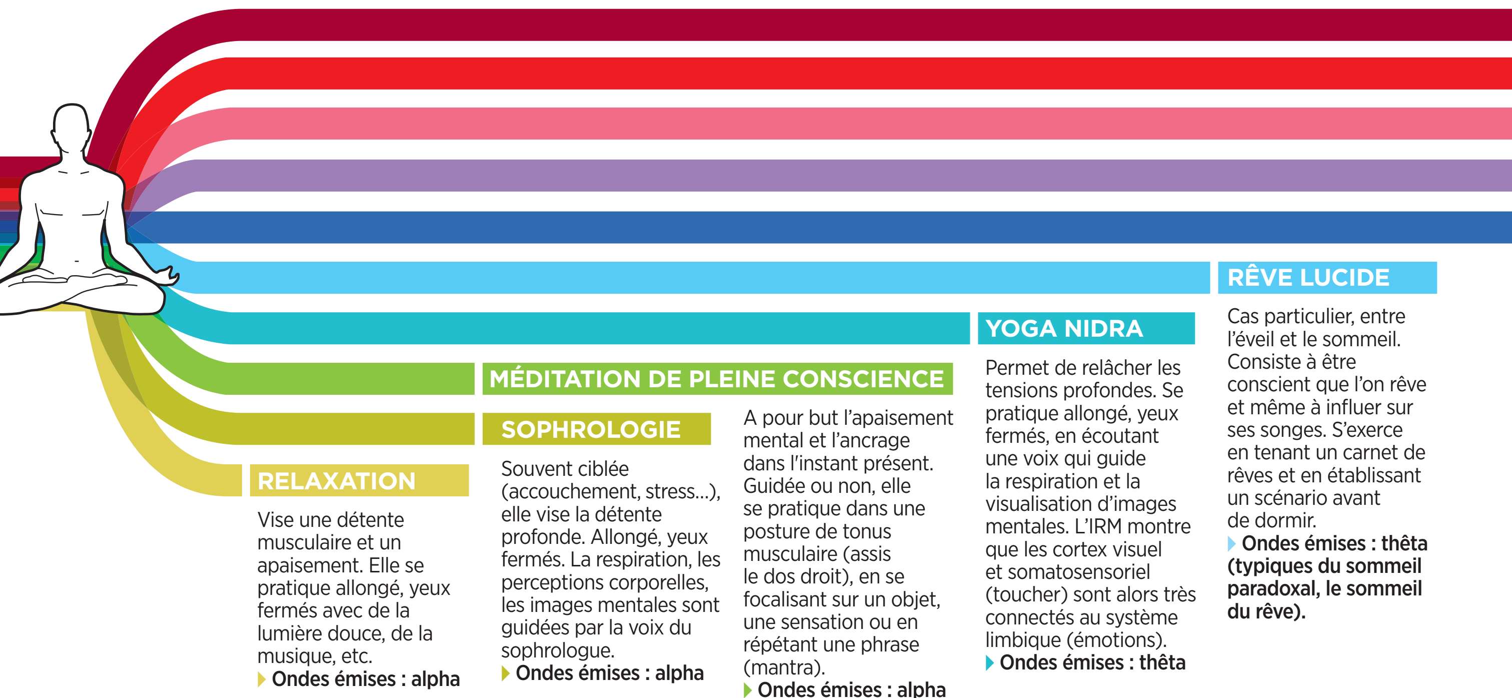
Si l'on portait en permanence un casque à électrodes qui mesure l'activité électrique de notre cerveau (électroencéphalographie ou EEG), nous observerions que l'on expérimente, chaque jour, de multiples états de conscience, chacun correspondant à l'émission d'ondes cérébrales différentes, d'une gamme de fréquence particulière (en hertz). De nombreuses techniques permettent de passer volontairement d'un état à un autre. Décryptage.

LES DIFFÉRENTES ONDES DU CERVEAU. Lorsqu'il est en veille active, notre cerveau émet surtout des ondes rapides, dites bêta (de 12 à 30 Hz), avec l'apparition d'ondes gamma spécifiques (vers 40 Hz) lors d'une activité intellectuelle et mentale (intense). Alors qu'en relaxation légère ou éveil calme (assis dans son canapé yeux fermés par exemple), ce sont des ondes alpha (de 8 à 12 Hz) qui dominent. Les ondes thêta (4 à 8 Hz) correspondent, elles, à la relaxation profonde, la méditation et à un certain type de sommeil (paradoxal). Enfin, en sommeil profond, les ondes majoritaires sont de type delta (de 0,5 à 4 Hz). « *Au cours d'une journée, nous ne faisons que passer d'un état de conscience à l'autre* », explique Marie-Élisabeth Faymonville, chef du service d'algologie-soins palliatifs du CHU de Liège, hypnothérapeute mondialement reconnue.

PRATIQUES

Dix états vers l'extase

Un individu peut expérimenter différents états modifiés de conscience. Plus l'expérience est intense, plus les ondes cérébrales émises sont lentes et la dissociation (sensation de déconnexion avec ce qui nous entoure) est forte. De la simple relaxation à l'état extatique.



RELAXATION

Vise une détente musculaire et un apaisement. Elle se pratique allongé, yeux fermés avec de la lumière douce, de la musique, etc.

▸ Ondes émises : alpha

SOPHROLOGIE

Souvent ciblée (accouchement, stress...), elle vise la détente profonde. Allongé, yeux fermés. La respiration, les perceptions corporelles, les images mentales sont guidées par la voix du sophrologue.

▸ Ondes émises : alpha

MÉDITATION DE PLEINE CONSCIENCE

A pour but l'apaisement mental et l'ancrage dans l'instant présent. Guidée ou non, elle se pratique dans une posture de tonus musculaire (assis le dos droit), en se focalisant sur un objet, une sensation ou en répétant une phrase (mantra).

▸ Ondes émises : alpha

YOGA NIDRA

Permet de relâcher les tensions profondes. Se pratique allongé, yeux fermés, en écoutant une voix qui guide la respiration et la visualisation d'images mentales. L'IRM montre que les cortex visuel et somatosensoriel (toucher) sont alors très connectés au système limbique (émotions).

▸ Ondes émises : thêta

RÊVE LUCIDE

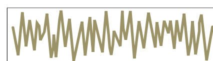
Cas particulier, entre l'éveil et le sommeil. Consiste à être conscient que l'on rêve et même à influer sur ses songes. S'exerce en tenant un carnet de rêves et en établissant un scénario avant de dormir.

▸ Ondes émises : thêta (typiques du sommeil paradoxal, le sommeil du rêve).

LES DIFFÉRENTS ÉTATS MODIFIÉS DE CONSCIENCE. Ce large éventail d'états de conscience, modulés par les ondes cérébrales, peut modifier les perceptions. Parfois, le changement est involontaire et brutal. Ainsi, en cas de danger mortel ou de situation émotionnelle extrême, nous pouvons basculer dans un état dit d'expérience de mort imminente (EMI) dont on commence à percer les secrets *(lire p. 38)*. Ou se mettre en hypnose spontanée. « *Les gens peuvent avoir l'impression de sortir de leur corps, de ne plus sentir de douleur, d'être dissociés* », rapporte Marie-Élisabeth Faymonville. Mais ce « débrayage » cérébral peut aussi être volontairement provoqué. Les chamans ou les moines bouddhistes, entre autres, ont appris à moduler leurs ondes cérébrales par la transe, l'état extatique ou la méditation profonde. En Occident, d'autres méthodes telles que la relaxation, la sophrologie, l'hypnose, la méditation de pleine conscience ou le yoga nidra font recette. Point commun : toutes sont une dissociation entre l'esprit, le corps et l'environnement, où l'individu perd plus ou moins la notion de soi de l'espace et de temps. Mais toutes n'ont pas la même intensité de dissociation. D'où le classement que le professeur Faymonville a établi, de la simple relaxation à l'état extatique « *où l'individu a la sensation d'être en fusion avec l'Univers* » *(voir l'infographie ci-dessous)*.

LES TECHNIQUES UTILISÉES. Différents moyens existent pour obtenir l'effet désiré. Des plantes psychotropes comme l'ayahuasca (Amazonie), l'iboga (Afrique), des champignons hallucinogènes ou des drogues (LSD, kétamine...) induisent un état modifié de conscience. Non sans danger. Mais d'autres techniques corporelles le permettent tout autant. Selon Marc-Alain Descamps, professeur de psychologie et de yoga, auteur de *Corps et extases*, cela va de l'hyperventilation (transe chamanique, yoga, soufisme...) aux rotations accélérées de la tête (derviches tourneurs), en passant par l'isolation des sens ou la répétition de phrases ou d'images mentales. Quel que soit l'état recherché, le stimulus répétitif est le meilleur catalyseur. Il sature les sens et permet à d'autres fonctions cognitives de s'exprimer. Un peu comme si l'on distrayait le chef d'orchestre afin que des instruments en arrière-plan puissent jouer librement. Les techniques d'induction hypnotiques utilisent ce principe. « *Elles saturent le cerveau d'informations*, poursuit l'hypnothérapeute. *Je demande au patient de bien focaliser son attention sur ses pieds, de remarquer tous les changements qui surviennent, etc. À force d'être dans cet hypercontrôle, on perd le contrôle.* » Les chamans utilisent, eux, des battements de

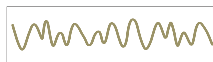
LES ONDES CÉRÉBRALES DE L'ÉVEIL



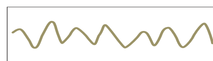
Ondes gamma
De 30 à 100 Hz
(hautes fréquences)
activité mentale intense



Ondes bêta
De 12 à 30 Hz
éveil actif



Ondes alpha
De 8 à 12 Hz
éveil calme

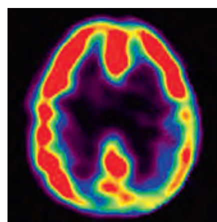


Ondes thêta
de 4 à 8 Hz
(basses fréquences)
relaxation profonde



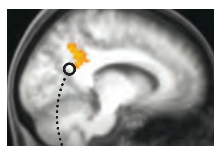
HYPNOSE
Vise à modifier les perceptions (souvenir, situation difficile, douleur...). Pratiquée en position relâchée, elle consiste à se concentrer sur un objet, une sensation, en écoutant l'hypnothérapeute qui, par des suggestions, induit le changement.
▶ **Ondes émises : thêta**

MÉDITATION EXPÉRIMENTÉE
À force de pratique, le méditant expérimenté entre en méditation profonde sans effort. Le lobe frontal (concentration) est actif, le lobe pariétal droit (repères spatio-temporels) plus inhibé.
▶ **Ondes émises : thêta et gamma**



DR. A. NEWBERG

TRANSE CHAMANIQUE
Vise à entrer en contact avec une autre réalité en se coupant de l'environnement. Induite entre autres par des percussions rythmées à une fréquence de 4 Hz. L'activation du cortex cingulaire augmente les pensées intérieures alors que le cortex auditif se désactive.
▶ **Ondes émises : thêta**

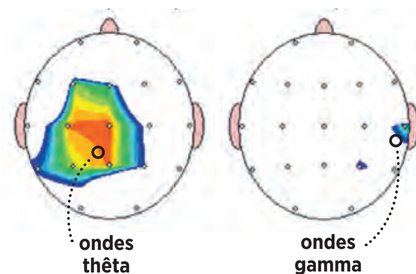


M. J. HOVE, J. STELZER

EXPÉRIENCE DE MORT IMMINENTE
Spontanée, elle se caractérise par des visions (lumière, défunts, tunnel), une accélération des pensées, une dissolution du soi, une sensation de décorporation. Elle bouleverse la vie des « expérienceurs ».
▶ **Ondes émises : encore inconnues**

ÉTAT EXTATIQUE
Spontané ou provoqué, il crée une sensation de fusion avec le cosmos, une illumination, des visions religieuses, transformant la vie des individus. Chez des carmélites en prière intense, l'activation de réseaux cérébraux, avec émissions fortes d'ondes fortes thêta dans l'hémisphère gauche et d'ondes gamma dans l'hémisphère droit.
▶ **Ondes émises : thêta**

M. BEAUREGARG, V. PAQUETTE



tambour répétitifs. « *Cela limite l'entrée sensorielle à un seul stimulus auditif hautement prévisible*, explique Michael Hove, du Max Planck Institute for Human Cognitive and Brain Sciences de Leipzig (Allemagne) qui étudie la transe chamanique. *Les chamans se retrouvent ainsi dans un état si absorbé qu'ils se désengagent de l'environnement sensoriel.* » De précédentes recherches ont montré que la fréquence des percussions utilisée se situait entre 3 et 7 Hz selon un rythme immuable, cette fréquence correspondant à celle des ondes thêta du cerveau. Ce qu'a confirmé Michael Harner, célèbre anthropologue américain, qui a déterminé que 220 battements par minute (un peu moins de 4 Hz) étaient la fréquence idéale.


J. DE WILDE/REPORTERS

> « Au cours d'une journée, nous passons sans cesse d'un état de conscience à l'autre »
> **Marie-Élisabeth Faymonville** chef de service d'algologie-soins palliatifs du CHU de Liège

LES SECRETS DU CERVEAU EN TRANSE. Les chercheurs sont allés plus loin dans l'exploration du cerveau en transe. Ainsi, en 2015, Michael Hove a observé l'activité cérébrale de 15 pratiquants du chamanisme. Une fois allongés dans une IRM fonctionnelle (IRMf), il leur a diffusé le son de tambours réguliers à 4 Hz, inducteur de transe. « *Le cerveau active le cortex cingulaire postérieur impliqué dans la cognition interne*, rapporte Michael Hove, *mais aussi le cortex cingulaire antérieur dorsal et l'insula antérieur gauche, qui contrôlent les fonctions cognitives.* » Autrement dit, durant la transe, le réseau de cognition interne, impliqué dans les pensées indépendantes des stimuli extérieurs, est amplifié. Simultanément, l'IRMf a révélé que le réseau cérébral auditif diminuait : le chaman n'entend plus ce qui l'entoure, ce qui favorise la plongée en soi. « *Cette reconfiguration des réseaux peut promouvoir l'intégration de nouveaux concepts et une révélation (insight) peut survenir* », conclut Michael Hove.

LES EFFETS INTRIGANTS DE LA MÉDITATION ET DE L'HYPNOSE. Le Coma Science Group du CHU de Liège (Belgique) a montré en 2013 que l'hypnose activait également des réseaux internes (conscience de soi) et entraînait une baisse des réseaux externes (conscience de l'environnement). De même, les études d'Andrew Newberg de l'université de Philadelphie et de Richard Davidson de l'université de Wisconsin-Madison, aux États-Unis, révèlent que lorsqu'un moine tibétain médite, l'activité dans le lobe préfrontal de son cerveau augmente, signe d'une concentration intense alors que celle de la région pariétale droite diminue, indiquant une perte d'attention temporelle et spatiale. Les zones limbiques (impliquées dans les émotions) sont aussi très actives, contribuant au sentiment de bien-être. Par ailleurs, Richard Davidson a montré que les moines bouddhistes expérimentés produisaient, en méditant, près de 30 fois plus d'ondes gamma (activité mentale intense) que les débutants. Au CHU de Liège, une nouvelle question taraude aujourd'hui l'équipe : le niveau de conscience du cerveau en méditation est-il plus élevé qu'en phase d'éveil ? Le bouddhiste Matthieu Ricard s'est livré récemment à l'expérience. Réponse en 2017.

MICHEL MATHYS/CHU LIÈGE-2015

LE CAS PARTICULIER DU RÊVE LUCIDE. Celui-ci est un état modifié de conscience particulier puisqu'il survient... pendant le sommeil.

COMA

Établir le bon diagnostic

Quarante et un pour cent des diagnostics sur l'état de conscience des patients dans le coma seraient... erronés, selon une étude du Coma Science Group de Liège (Belgique) publiée en 2009. Après une lésion cérébrale, il existe en effet plusieurs états de conscience altérée, aux pronostics différents. Un coma (yeux fermés, inconscient) peut durer de quelques heures à des semaines. Ensuite, soit le patient peut se réveiller et récupérer, soit il peut décéder. Mais aussi, il peut ouvrir les yeux et demeurer inconscient de lui-même et de son environnement, dans un état dit végétatif/éveil non répondant. Dès lors, s'il ne montre pas de signe de conscience entre 3 mois (après un arrêt cardiaque) et 12 mois (après un traumatisme), ses chances de récupération fonctionnelle sont très réduites. D'autres peuvent évoluer différemment. Sans pouvoir communiquer ils montrent des signes de conscience fluctuants mais reproductibles, dans un état dit de« conscience minimale » pouvant évoluer plus ou moins favorablement. Enfin des patients sortent du coma mais entièrement paralysés, atteints du *locked-in syndrome* ou syndrome d'enfermement, causé par une lésion du tronc cérébral. Établir le bon diagnostic est donc déterminant pour tenter d'anticiper le devenir du patient et proposer les bons traitements. L'équipe de Liège préconise ainsi l'utilisation de la *Coma recovery scale revised* une échelle d'évaluation en 25 étapes, plus sensible et fiable que l'examen clinique habituel.



Le cerveau du moine bouddhiste Matthieu Ricard est étudié par le Coma Science Group afin d'évaluer (par EEG et IRM) sa conscience en méditation (2015).

« Le dormeur est capable d'avoir une conscience réflexive, il sait qu'il rêve », définit Isabelle Arnulf, neurologue, directrice de l'unité des pathologies du sommeil à l'hôpital Pitié-Salpêtrière, à Paris. Les rêves lucides surviennent lorsque les lobes frontaux normalement endormis se réveillent, alors que la conscience de l'environnement du dormeur est toujours inhibée. Depuis que le chercheur Stephen Laberge, psychophysiologiste américain a eu l'idée, dans les années 1980 de dialoguer avec les rêveurs lucides grâce à un code oculaire, de nombreuses études ont révélé qu'on pouvait s'exercer à contrôler ses rêves. *« Pour cela il faut commencer par les noter, ce qui permet d'y prêter attention*, reprend Isabelle Arnulf. *Ensuite, on peut les influencer. »*

À QUOI SERVENT LES ÉTATS MODIFIÉS DE CONSCIENCE ? Selon Steven Laureys, responsable du Coma Science Group, les états modifiés de conscience spontanés tels que l'EMI seraient une protection psychologique dans une situation traumatisante. Pour les états provoqués (transe, méditation...), il y aurait d'autres bénéfices. Nancy Vuckovic, du Center for Health-Norwest de Portland (Etats-Unis), a ainsi montré sur 23 patientes souffrant de troubles temporo-mandibulaires douloureux que cinq séances de transe chamanique ont un effet antidouleur qui se prolonge au moins neuf mois. L'hypnose aussi module les circuits cérébraux de la perception de la douleur, comme l'a montré le Coma Science Group. L'équipe de Marie-Élisabeth Faymonville l'utilise donc au bloc opératoire, combinée à une anesthésie locale et à une sédation légère.
Quant à la méditation, elle a fait son entrée dans une dizaine d'hôpitaux en France, comme à Strasbourg qui a même créé le premier diplôme universitaire de Médecine, méditation et neurosciences s'adressant à des médecins, psychologues ou chercheurs. Sa principale indication : les traitements antistress et la dépression *(lire Sciences et Avenir n° 797, juillet 2013)*. *« C'est un nouvel outil qui diminue de 30 % les rechutes dépressives »*, assure le professeur de psychiatrie Gilles Bertschy du CHU de Strasbourg. Après un épisode dépressif, les médecins proposent donc aux patients un programme de méditation de pleine conscience en huit semaines, validé par des essais cliniques, pour enrayer le phénomène. Au final, Gilles Bertschy n'est pas surpris de l'engouement pour ces techniques. *« Nous sommes nombreux à avoir le sentiment d'être submergés par l'information. Le cerveau est suractivé, multitâche, distrait. C'est pourquoi on cherche de plus en plus de moyens de prendre de la distance, de faire une pause. »* En toute conscience. ■

@ElenaSender

POUR EN SAVOIR PLUS

Livres

- *Un si brillant cerveau, les états limites de conscience*, Steven Laureys, Odile Jacob, 2015.
- *Ces EMI qui soignent*, Éric Dudoit et Elianne Lheureux, S17editions, 2013.

Web

- Site d'information scientifique du Coma Science Group : www.coma.ulg.ac.be
- Institut français d'hypnose, centre de recherche et de formation : www.hypnose.fr
- Association pour le développement de la méditation de pleine conscience (mindfulness) : www.association-mindfulness.org

Pleins feux sur Proxima b

La découverte de l'exoplanète la plus proche de la Terre pose un défi aux chercheurs : comment observer au plus près cet astre si semblable au nôtre et susceptible d'herberger la vie.

Par Azar Khalatbari

La nouvelle fait rêver depuis la fin de l'été chercheurs et auteurs de science-fiction : l'étoile la plus proche de nous, Proxima du Centaure, héberge un « joyau ». Une planète très probablement faite de roche, baptisée Proxima b, d'au moins 1,3 fois la masse terrestre, et située pile dans la zone dite d'habitabilité *(voir lexique ci-dessous)* de son étoile. Mi-octobre, une équipe du Laboratoire d'astrophysique de Marseille et de l'université Cornell (États-Unis) a formulé des hypothèses sur son diamètre : entre 5990 et 8920 kilomètres. Certaines de ces valeurs indiqueraient la probable existence d'un océan. Un résultat excitant pour ce globe situé quasiment sous nos yeux, à 4 années-lumière de distance. La découverte a été réalisée par une équipe de l'Observatoire austral européen (ESO), et cette cousine de la Terre, si proche de nous, déclenche une vague d'enthousiasme chez les astrophysiciens. D'abord parce qu'elle conforte de façon magistrale la promesse



ESO/G. HUEDEPOHL

L'Observatoire austral européen, qui abrite le très grand télescope (VLT), au Chili, a permis la découverte de Proxima b.

EXOPLANÈTE Il s'agit des planètes en rotation autour d'autres étoiles que le Soleil. Ce terme a été inventé en 1995, date à laquelle la première d'entre elles a été découverte.

ZONE D'HABITABILITÉ Désigne la région autour d'une étoile où la température permettrait la formation d'eau liquide à la surface d'une éventuelle exoplanète.

ATMOSPHÈRE Elle représente la couche externe d'une planète, faite de gaz. Lorsque celle-ci est rocheuse et héberge la vie comme la Terre, l'atmosphère porte les traces des échanges gazeux du vivant.

Océans ou continents, de nombreuses hypothèses portent sur la surface de Proxima b (vue d'artiste).

ESO/M. KORNMESSER

de la pluralité des planètes : *« un simple calcul statistique montre que si une étoile prise au hasard dans notre environnement proche héberge une planète, alors notre galaxie — avec ses 200 milliards d'étoiles — regorge de globes ! »* reconnaît Jean-Loup Bertaux, directeur de recherche émérite au CNRS. Ensuite, parce que Proxima b ouvre une nouvelle ère dans ce champ scientifique inauguré il y a 21 ans tout juste avec la découverte de 51 Pegasi par les Suisses de l'Observatoire de Genève Michel Mayor et Didier Queloz, aujourd'hui également à l'université de Cambridge (Royaume-Uni). En effet, *« Proxima b va devenir notre laboratoire à portée de main : c'est sur elle que nous allons affûter nos instruments d'investigation ! »* s'exclame, enthousiaste Christophe Lovis lui aussi à l'Observatoire de Genève *(lire l'encadré p. 50)*.



D.GOUPY / SIGNATURES

« Nous cherchons à comprendre comment se forment les systèmes planétaires »

Michel Mayor, observatoire de Genève, Suisse.

Les astrophysiciens font depuis deux décennies moisson d'exoplanètes : plus de 3200. *« À travers ces découvertes, nous cherchons à comprendre comment se forment les systèmes planétaires,* explique Michel Mayor. *C'est, d'une certaine manière, un pan important de notre propre histoire, celle de la formation du système solaire, que nous cherchons à reconstituer : auparavant, nous pensions en effet que notre Terre était issue de conditions très spéciales, faisant figure d'exception. Aujourd'hui, tout indique au contraire que les planètes autour d'autres étoiles sont légion. »*

Parmi ces mondes lointains, tous ne focalisent cependant pas la même attention. Seules quelques dizaines d'exoplanètes jouissent en effet des conditions indispensables pour héberger potentiellement la vie. Pour autant, la portent-elles réellement ? C'est bien la question qui hante l'esprit des chercheurs. Car ceux-ci ont jusqu'alors accumulé des candidats potentiels… sans vraiment pouvoir trancher. Et pour cause ! On ne dispose que de moyens indirects, comme des modèles numériques, pour formuler des hypothèses. La méthode directe d'observation depuis la Terre, les télescopes, ne peut en effet être tentée que si le globe est dans une configuration très particu-

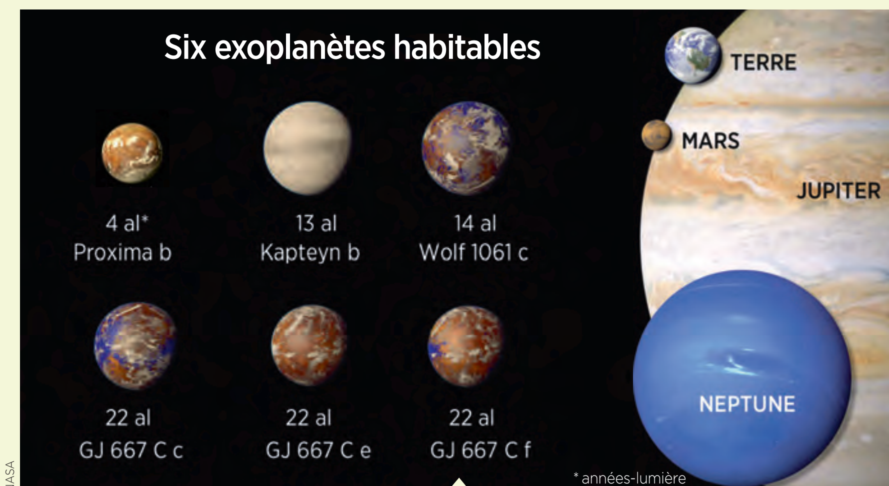
OBSERVATION

Resserrer les recherches

« *Il faut désormais suivre une autre stratégie pour converger sur la question de la vie ailleurs* », selon Jean-Loup Bertaux, directeur de recherche au CNRS. Pour ce faire, le planétologue propose de concentrer les investigations dans un rayon de 30 années-lumière autour de la Terre afin de trouver uniquement des candidates à la portée des moyens d'observation susceptibles d'être développés d'ici à quelques décennies. Jusque-là, le plus grand nombre d'exoplanètes détectées provient de la mission du télescope spatial Kepler de la Nasa, qui observe depuis 2009 un champ contenant beaucoup d'étoiles. « *Or dans un champ qui embrasse beaucoup d'étoiles, les astres sont forcément très distants et les planètes sont hors de portée. Si elles abritent la vie, nous n'en saurons rien* », précise-t-il. Or, cette proposition semble émerger dans les programmes des agences. Ainsi, l'Observatoire européen austral (ESO) s'est enrichi début 2015 d'un réseau de 12 télescopes (NGTS, Next Generation Transit Survey) capable d'identifier les planètes rocheuses plus petites que Neptune gravitant autour d'étoiles proches. « *Une sélection destinée au programme d'observations de la future génération de télescopes au sol et au successeur d'Hubble* », indique Michel Mayor de l'observatoire de Genève. Puis, dès 2017, deux missions spatiales américaine et européenne iront à l'assaut de notre banlieue cosmique. « *TESS (Transiting Exoplanet Survey Satellite) de la Nasa sera à l'affût des éventuelles planètes autour des étoiles les plus proches dans un rayon de 100 années-lumière du Soleil, tandis que Cheops — satellite de caractérisation d'exoplanète — de l'ESA, va sonder l'atmosphère des astres les plus proches déjà découverts* », conclut le chercheur.

Il faut concentrer les investigations dans un rayon de 30 années-lumière autour de la Terre

Enfin, en 2024, l'Agence spatiale européenne a prévu Plato (Planetary Transits and Oscillations of stars), un observatoire spatial capable de mesurer les oscillations à la surface des étoiles (astérosismologie) pour en déterminer le rayon. Le but étant de repérer les systèmes semblables au couple Terre-Soleil. Nous saurons alors si notre histoire est vraiment exceptionnelle ou… plutôt banale.



Ces planètes situées dans un rayon de 30 années-lumière de la Terre se trouvent dans la zone d'habitabilité de leur étoile. Elles présentent une grande diversité, tout comme les planètes du système solaire (ici Neptune, Mars, Jupiter et la Terre).

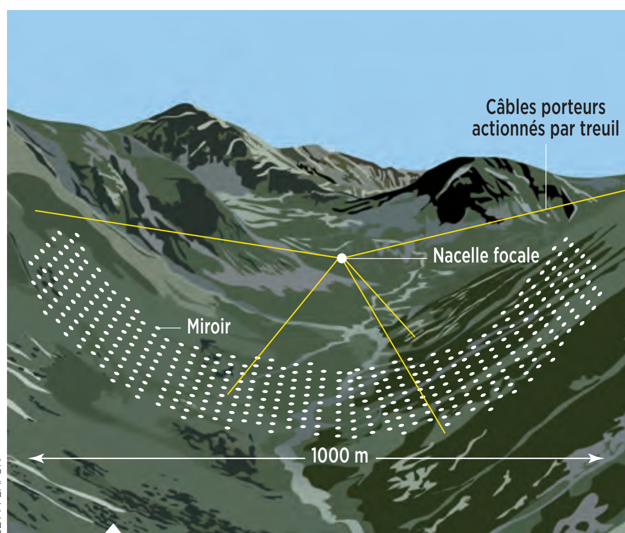
lière : lorsque le couple étoile-planète se trouve exactement aligné avec l'observateur. « *Dans ces conditions, lorsque la planète, vue depuis la Terre, passe bien devant son étoile, la lumière de cette dernière se trouve filtrée et légèrement transformée par l'atmosphère de la planète tout le temps que dure ce passage*, explique Christophe Lovis. *En l'analysant avant et après ce transit, on peut en savoir plus.* » Las ! il n'y a que 1 % de chance que Proxima b se trouve dans cette configuration favorable, malgré sa proximité avec la Terre. La difficulté étant alors d'obtenir une image bien distincte des deux objets — planète et étoile. « *L'angle entre les deux est souvent très petit, et avec la turbulence atmosphérique, il est difficile de percevoir les deux astres même avec le VLT — le plus grand télescope du monde de l'ESO — au Chili. De plus, la lumière en provenance directe de la planète est près de dix millions de fois plus faible que celle de son étoile.* » Résultat : l'image de ces deux astres ressemble souvent à une seule et indistincte « patate »…

Deux instruments combinés pour sonder son atmosphère

Mais Proxima b vient de changer la donne. Les équipes sont en effet bien décidées à redoubler d'astuces pour espérer sonder son atmosphère. Ainsi, trois semaines à peine après l'annonce de la découverte, Christophe Lovis et ses collègues sont parvenus à développer une méthode* qui devrait permettre d'en savoir plus sur le cocon gazeux de la planète, et ce en un temps record, c'est-à-dire au cours des prochaines années. « *L'idée est d'associer deux instruments qui n'avaient* a priori *rien à faire ensemble* », explique le chercheur.

Le premier, Sphère (Spectro polarimètre à haut contraste pour la recherche d'exopla-

nètes) équipe déjà le VLT doté d'un miroir de 8 mètres et permet de masquer la lumière de l'étoile pour obtenir des images des planètes extrasolaires mille fois plus contrastées.
Le second, Espresso, est un spectromètre capable d'identifier la signature des atomes et des molécules. Il est en développement à l'observatoire de Genève *« et sera envoyé à l'ESO courant 2017 »*, reprend Christophe Lovis. Combinés, ils pourront enfin révéler si l'air de Proxima b est respirable, c'est-à-dire s'il contient de l'oxygène, s'il est riche en vapeur d'eau ou en méthane, et si la planète présente des traces de chlorophylle… autant d'indices de la vie.
Cette perspective rend les astronomes plus curieux encore : existe-t-il une circulation atmosphérique sur Proxima b ? des continents ? des océans ? Pourra-t-on y déceler des saisons perceptibles ? Pour répondre, ils vont disposer dans les années à venir de quelques armes redoutables, sur Terre et dans l'espace, notamment l'European Extremely large telescope (E-ELT), doté d'un miroir de 39 mètres de diamètre, qui va voir le jour au Chili à l'horizon 2024. Il permettra de distinguer les planètes de leur étoile mère. Puis le James Webb Space Telescope (JWST), le successeur d'Hubble qui sera dès 2018 à l'avant-poste d'observation des systèmes planétaires.



BETTY LAFON

Le projet de l'hypertélescope (ici dans sa version terrestre, en cours de réalisation dans la vallée de l'Ubaye) comprend des miroirs formant une surface virtuelle. La nacelle du dispositif focal se déplace le long des câbles. Dans sa version spatiale, l'hypertélescope comportera un million de miroirs.


COLLÈGE DE FRANCE

« Avec l'hypertélescope dans l'espace, on pourra y surprendre des signes biologiques, comme le jaunissement des feuilles à l'automne »
Antoine Labeyrie, professeur émérite au Collège de France et à l'observatoire de la Côte d'Azur.

Un télescope géant en test dans les Alpes

Enfin, d'ici à quelques décennies, les astronomes verront peut-être se concrétiser les projets les plus fous. L'un d'entre eux est l'hypertélescope que conçoit Antoine Labeyrie, professeur émérite au Collège de France et à l'observatoire de la Côte d'Azur. Pour l'heure, le chercheur expérimente avec son équipe un prototype terrestre de son instrument, qui pourrait accomplir des merveilles dans le domaine d'observation des exoplanètes. Avec son dispositif de miroirs de 1000 mètres de diamètre, on serait capable de repérer quelques détails. mais c'est dans l'espace que les hypertélescopes feront beaucoup mieux avec un miroir de 100 kilomètres. *« Pour ce faire, il faut maintenir dans l'espace une flottille d'un million de petits miroirs de 3 centimètres chacun, grâce à des rayons laser formant un piège optique »*, explique-t-il. La difficulté étant d'ajuster et de conserver la position axiale des miroirs pour former une même surface imaginaire.
Ce concept, proposé à l'agence spatiale européenne (ESA) et à la Nasa, a fait l'objet d'une étude par cette dernière. Avec une flottille de 100 kilomètres, le pouvoir de résolution — la capacité des instruments d'optique de séparer deux points très proches l'un de l'autre — atteint une microseconde d'arc, ce qui permet de distinguer des objets 2500 fois plus petits qu'avec l'ELT et 10 000 fois plus petits qu'avec les plus grands télescopes actuels équipés pour corriger la turbulence atmosphérique. Avec une telle résolution, les astronomes pourront observer… une puce de 1,5 millimètre se déplaçant à la surface de la Lune ou des détails de 150 kilomètres sur Proxima b permettant d'y rechercher la présence de grandes villes. Et si celle-ci s'avère être — comme la Terre — grouillante de vie, *« alors on sera en mesure non seulement surprendre les signatures associées au vivant mais aussi leur variation, signe d'une activité biologique continue, comme le jaunissement des feuilles à l'arrivée de l'automne, l'été indien en somme »*, s'enthousiasme Antoine Labeyrie. On pourra ainsi admirer les couleurs de l'automne sur Proxima b ou, plus prosaïquement, chercher un terrain d'atterrissage pour vaisseau spatial : le milliardaire russe Youri Milner et le célèbre physicien Stephen Hawking avaient en effet annoncé, peu avant la découverte, vouloir atteindre Proxima, l'étoile qui héberge la planète… Même si le savant britannique vient de changer prudemment d'avis fin septembre : s'il y a de vie extraterrestre si proche de nous, mieux vaut peut-être ne pas se manifester… ■


ESO/L. CALÇADA

Avec son miroir de 39 m de diamètre, l'E-ELT sera le plus grand télescope au monde à l'horizon 2024. Il permettra d'observer directement les exoplanètes depuis le désert d'Ataca, au Chili (vue d'artiste).

* sciav.fr/837proximab

Les prouesses de l'électronique flexible

En utilisant l'élasticité des polymères à la place du silicium, des circuits électroniques souples sont déjà développés. À quand les emballages interactifs, les écrans enroulables ou les rideaux électroluminescents ?

L'ALERTE EST DONNÉE PAR UN SIGNAL SONORE. François, qui attend tranquillement son bus, relève sa manche de chemise et jette un œil au petit écran fixé sur son bras, si fin, léger et flexible qu'il en épouse parfaitement les courbures. Les chiffres qui s'affichent lui indiquent que son rythme cardiaque s'emballe ; sa pression artérielle chute ; son stress augmente. Sans attendre, il saisit son téléphone et compose le numéro des urgences. L'ambulance arrive peu après : les secouristes diagnostiquent les signes avant-coureurs d'un infarctus. Traité à temps, il est sauvé.
Cette scène imaginaire n'appartient pas encore à notre vie quotidienne. Mais les travaux de l'équipe du Japonais Takao Someya, de Tokyo, l'annoncent déjà. Les scientifiques ont présenté récemment à Canton (Chine) leur prototype de « peau électronique » : un film de 3 micromètres d'épaisseur applicable sur l'épiderme, déformable et aussi léger qu'une plume, qui mesure et affiche en temps réel la fréquence cardiaque et le taux d'oxygénation. C'est l'une des dernières avancées de l'« électronique flexible », un secteur promis à un avenir radieux. Elle pourrait aussi faire merveille dans des secteurs comme les emballages « intelligents », les téléviseurs aux écrans « enroulables », les smartphones souples ou... les rideaux électroluminescents.

Aussi conducteur que le cuivre

Toutes ces applications sont fondées sur la même propriété : l'élasticité des polymères *(lire lexique)*, ces chaînes moléculaires qui composent les plastiques, caoutchoucs, colles, peintures, etc. *« Grâce à elles, le dispositif de l'équipe japonaise peut être froissé jusqu'à former une boule... ce qui n'empêche pas les circuits électroniques de fonctionner !* », s'enthousiasme Lionel Hirsch, du Laboratoire de l'intégration du matériau au système de l'université de Bordeaux, présent lors de la démonstration en Chine. Une prouesse irréalisable pour l'électronique « classique », qui repose sur l'utilisation de cristaux de silicium. Bien que très performants pour conduire l'électricité et traiter l'information, ceux-ci se brisent en effet comme du verre dès qu'on essaie de les tordre... Tous ceux qui ont par mégarde fait tomber leur téléphone portable en ont fait l'amère expérience.
Tout commence il y a une quarantaine d'années quand l'Américain Alan Heeger, le Néo-Zélandais Alan MacDiarmid et le Japonais Hideki Shirakawa — colauréats du Nobel de chimie en 2000 — découvrent que les polymères peuvent conduire le courant. En ajoutant des charges électriques, par voie chimique notamment, à certains d'entre eux comme le polyacétylène, leur conductivité devient comparable... à celle du cuivre. *« Une alternative aux substances inorganiques est alors apparue*, raconte Lionel Hirsch. *Car les polymères semi-conducteurs* (voir lexique) *permettent de reproduire tous les composants que nous connaissons : transistors, diodes, mémoires, etc. »* Les scientifiques comprennent alors qu'il devient possible d'intégrer des dispositifs électroniques sur des surfaces courbes, comme le volant d'une voiture, ou dans des objets souples tels que des vêtements. Dans les décennies qui suivent, ils se lancent dans une course à l'innovation qui commence à porter ses fruits. Car les atouts de ces polymères ne se limitent pas à leurs qualités architecturales : ils sont aussi moins onéreux à produire. En effet, alors que les galettes de silicium sont fabriquées à 1500 °C puis découpées et assemblées dans des « salles blanches », les polymères sont conçus à température ambiante.

LEXIQUE

POLYMÈRES Longues macromolécules formées par la répétition d'une même sous-unité appelée monomère.

SEMI-CONDUCTEUR Possède une conductivité électrique intermédiaire entre celle des métaux et des isolants comme le verre.


L. HIRSCH

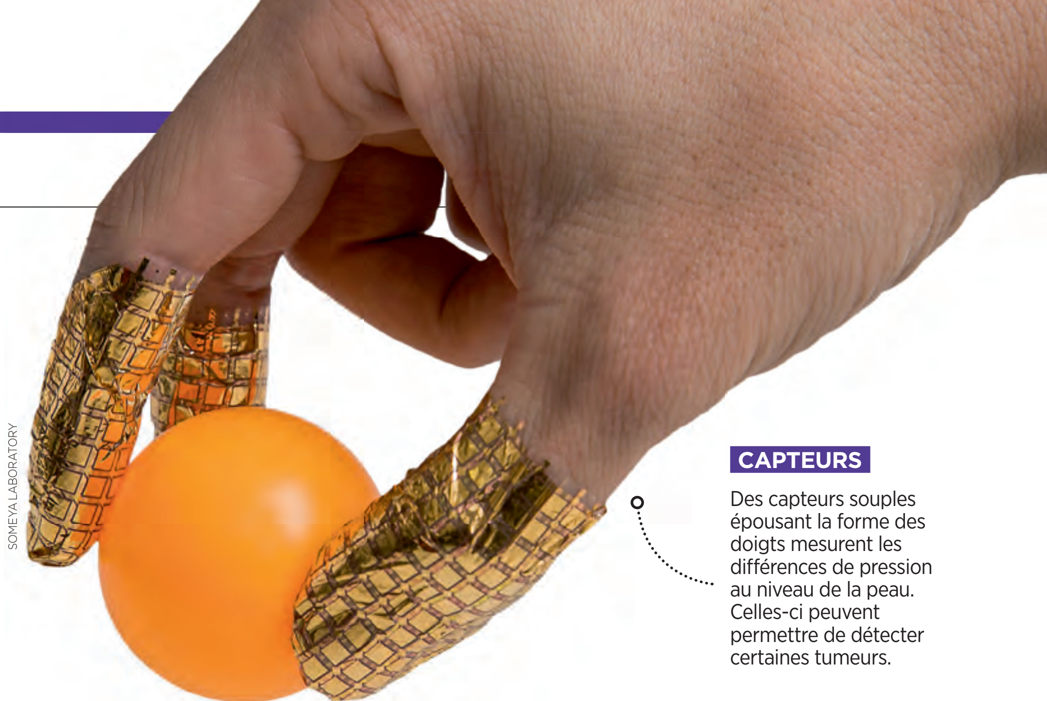
« Les polymères semi-conducteurs peuvent remplacer tous les composants : transistors, diodes, mémoires, etc. »

Lionel Hirsch, Laboratoire d'intégration du matériau au système, Bordeaux

La liste de leurs qualités semble désormais infinie. Fondées sur la chimie du carbone, ces molécules organiques sont miscibles dans des solvants. On peut les manipuler comme des encres et utiliser toutes les techniques d'impression (rouleau-à-rouleau, jet d'encre...) pour les déposer sur de grandes surfaces souples... un peu comme on fabrique des journaux. Et c'est dans le domaine de la santé que les applications sont particulièrement prometteuses. Ces matériaux peuvent en effet transporter des électrons mais aussi des ions, atomes ou petites molécules chargés électriquement. Or, en biologie, les communications — entre deux neurones, par exemple — s'établissent souvent par cet intermédiaire. D'où l'intérêt pour tous les appareils électroniques apposés sur des muqueuses ou la peau. *« Nos équipes ont ainsi démontré, en 2013, que des électrodes en polymères étaient 20 fois plus efficaces que leurs équivalents métalliques pour mesurer l'activité cérébrale »*, explique Christophe Bernard, de l'Institut de neurosciences des systèmes à l'université d'Aix-Marseille.

Ils produisent de la lumière quand ils sont « excités »

Les secteurs de l'éclairage et de l'affichage ne sont pas en reste, car les polymères semi-conducteurs ont aussi la propriété d'émettre de la lumière quand ils sont « excités » par une certaine énergie. Une particularité qui a été mise à profit pour développer des diodes électroluminescentes organiques (Oled) produisant toute une gamme de couleurs. Avec pour objectif de réduire l'épaisseur des écrans. Car les afficheurs à base d'Oled se passent des lumières annexes derrière chaque pixel indispensables aux écrans à cristaux liquides. Avec cette technologie commercialisée depuis 2009, les écrans les plus fins ne ▶



SOMEYA LABORATORY

CAPTEURS

Des capteurs souples épousant la forme des doigts mesurent les différences de pression au niveau de la peau. Celles-ci peuvent permettre de détecter certaines tumeurs.



LG DISPLAY

ÉCRAN

Cet écran souple à Oled de 18 pouces produit en 2014 par Samsung peut être enroulé en un cylindre de 3 cm de rayon.



GE GLOBAL RESEARCH

LAMPES OLED

Cette feuille de diodes électroluminescentes organiques (Oled) a été développée par l'américain General Electrics. Des dispositifs de ce type commencent à équiper des écrans de téléviseurs ou de smartphones.



THIN FILM

ÉTIQUETTES

Imprimées directement sur un rouleau de papier, ces étiquettes à mémoires électroniques permettent de suivre un produit de l'usine jusqu'au consommateur.



ARMOR

Ce film composé de polymères photoactifs permet de produire de l'électricité sur tout type de surface.

PHOTOVOLTAÏQUE

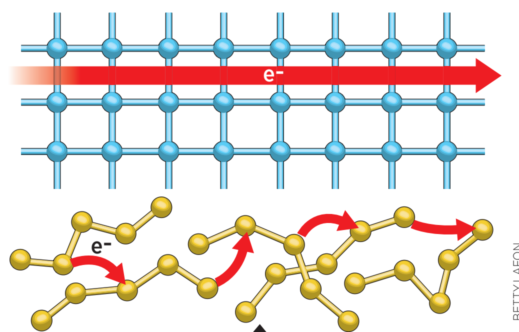
Des cellules solaires souples et légères

Des cellules photovoltaïques de quelques centaines de nanomètres, très légères mais surtout flexibles, applicables sur toute surface… Les modules à base de polymères que la société nantaise Armor commercialisera fin décembre semblent promis à un bel avenir : *« Après les Oled, c'est le secteur où les polymères photoactifs devraient réaliser d'ici trois à quatre ans une grande percée »*, selon Georges Hadziioannou, du Laboratoire de chimie des polymères organiques à l'université de Bordeaux. En équipant des Abribus, des stores, des parasols, des vêtements, etc. Le fonctionnement est analogue à celui des panneaux en silicium, sauf qu'un cœur photoactif en polymères transforme la lumière en électricité. Il est enchâssé entre deux électrodes, des couches qui facilitent le transport des électrons, des films en polyester protégeant l'ensemble de l'oxygène et de la vapeur d'eau. Certes, le rendement (40 W/m^2) reste 4 à 5 fois plus faible qu'avec le silicium, mais la souplesse, la légèreté, son procédé industriel « bas carbone » et les facilités logistiques (pour la fabrication et le transport) sont de puissants facteurs de différenciation.

dépassent pas 2,5 mm… Mais on n'en restera pas là, promet Lionel Hirsch : *« Plusieurs équipes ont présenté à Canton des prototypes de moins de… 1 mm d'épaisseur ! »* De quoi faire rêver Georges Hadziioannou, du Laboratoire de chimie des polymères organiques à l'université de Bordeaux, qui estime que d'ici à quelques années *« on combinera la compacité, l'électroluminescence et la flexibilité de ces matériaux pour intégrer des écrans à même les murs des maisons et les tapisser de revêtements éclairants »*. À terme, les ampoules pourraient ainsi disparaître : ce sont les abat-jour, les murs ou les rideaux qui émettront de la lumière.

Selon le cabinet IDTechEx, l'électronique des polymères pèsera dans dix ans plus de 60 milliards d'euros, grâce aux applications dans les domaines de l'affichage, de l'éclairage ou des cellules solaires organiques *(lire l'encadré ci-dessus)*. Encore faudra-t-il, pour assurer l'avenir de la filière, que scientifiques et ingénieurs surmontent le principal inconvénient de ces matériaux : la stabilité — et donc la longévité. *« Ils sont en effet très sensibles à l'oxygène, l'eau, et à la lumière*, note Georges Hadziioannou. *Quand ils absorbent trop d'énergie, des liaisons chimiques sont détruites et les chaînes se brisent comme des spaghettis. »* Pour les protéger, on recourt à des techniques d'encapsulation. Le verre est très efficace (on l'utilise pour les écrans Oled), mais sa rigidité supprime la flexibilité tant recherchée… Les efforts se concentrent donc sur le perfectionnement de capsules souples, en superposant des films plastiques, mais aussi sur la pureté, l'agencement et la composition chimique des polymères.

Le match silicium-polymères



Les électrons sont plus mobiles dans un cristal de silicium (en haut) que dans les polymères (en bas) où ils doivent sauter d'une molécule à l'autre. Mais ces derniers ont l'avantage d'offrir une plus grande souplesse et sont plus légers.

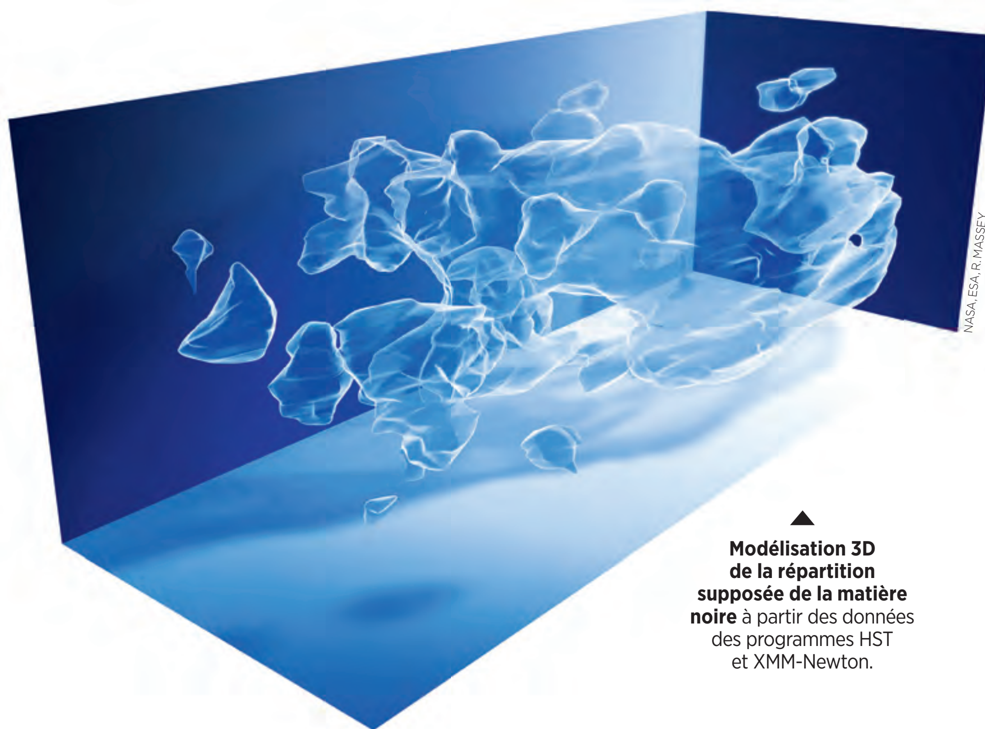
Le silicium reste imbattable pour certaines applications

Les ingénieurs cherchent aussi à booster la mobilité des électrons. Même si elle a été multipliée par un milliard en quarante ans, elle reste 1000 fois inférieure à celle du silicium *(voir l'infographie ci-contre)*. Ce dernier demeure ainsi imbattable pour toutes les applications énergivores ou nécessitant un traitement rapide de l'information. *« Tout le monde est persuadé que ces matériaux apporteront une rupture mais il faut être patient*, souligne Michel Popovic, président de l'Association française de l'électronique imprimée. *On a trop cherché à remplacer le silicium coûte que coûte, en misant sur les faibles coûts de fabrication sans prendre assez en compte les performances et les procédés industriels. Résultats : de nombreuses start-up en faillite, et beaucoup d'argent sans doute mal investi… »*

L'enjeu est désormais de développer des applications où la flexibilité et la légèreté des polymères apportent une vraie valeur ajoutée grâce — pour les technologies nomades,par exemple, qui n'ont pas besoin d'une grande vitesse de calcul. ■ **Franck Daninos**

La matière noire pourrait ne pas exister

Des chercheurs américains remettent en question l'hypothèse de cette matière invisible qui constituerait 26 % du contenu de l'Univers.



NASA, ESA, R. MASSEY

Modélisation 3D de la répartition supposée de la matière noire à partir des données des programmes HST et XMM-Newton.

Les astrophysiciens pourraient-ils se passer de l'hypothèse de la matière noire, cette matière invisible et pour l'heure indétectable, qui constituerait 26 % du contenu de l'Univers (*lire* S. et A. *n° 816, février 2015*) ? C'est ce qui semble ressortir des travaux d'une équipe américaine des universités Case Western Reserve et de l'Oregon (États-Unis).

L'hypothèse de la matière noire remonte à la fin des années 1970, lorsque l'astronome américaine Vera Rubin, aujourd'hui âgée de 88 ans, confirme les résultats de son collègue suisse Fritz Zwicky obtenus en 1933. Elle constate alors un paradoxe : dans les galaxies, les étoiles périphériques se déplacent à des vitesses telles qu'elles devraient s'échapper si l'on prend en compte de la force d'attraction exercée par la matière visible des régions centrales. D'après ses calculs, il manquerait jusqu'à dix fois la masse visible pour retenir ces étoiles. Seule hypothèse selon elle pour expliquer le fait qu'elles restent solidaires : l'existence d'une masse cachée. L'énigme de la « matière noire » vient de naître ! Depuis, les astrophysiciens la cherchent sous toutes les formes possibles.

4,6 %

C'est le pourcentage de matière ordinaire dans l'Univers, pour 26,8 % de matière noire et 68,3 % d'énergie sombre.

Or, voilà que dans leurs nouveaux travaux, les chercheurs américains remettent en question cette hypothèse. Pour ce faire, ils ont utilisé les données du satellite Spitzer de la Nasa qui opère dans l'infrarouge avec une précision inédite pour estimer la masse des étoiles de 153 galaxies. Puis, ils ont évalué la vitesse de rotation de ces galaxies à partir du gaz galactique, grâce aux données de plusieurs radiotélescopes. Surprise ! avec plus de 3000 points de mesures, il apparaît que la masse visible — celle du gaz et des étoiles que renferme chaque galaxie — expliquerait à elle seule ces vitesses. Sans qu'il soit besoin de recourir à la fameuse matière noire.

Un résultat « formidable »… sur lequel plane le doute

« *Si cette hypothèse était avérée, ce serait formidable* », plaisante David Elbaz, directeur de recherche à l'Institut de recherche sur les lois fondamentales de l'Univers (Irfu) du CEA, laboratoire de Cosmologie et Évolution des galaxies. Mais, le chercheur français relève plusieurs faiblesses qui font planer beaucoup de doutes sur ces résultats, rappelant que la déduction de la masse visible des galaxies se fait à partir de leur lumière. Il s'agit donc d'une relation indirecte, fondée sur l'exemple du Soleil, l'étoile que nous connaissons. Pour le chercheur, c'est donc une approximation valable surtout pour les étoiles possédant la même masse que le Soleil. « *Les étoiles plus massives rayonnent beaucoup plus. Il est donc indispensable de distinguer d'abord la proportion d'étoiles de grande et petite masse. Un point qui n'a pas été respecté dans le présent travail, ce qui doit fausser leur estimation de masse.* » À ce stade, il semble prématuré de ranger la matière noire dans le placard des accessoires devenus inutiles. ■

Azar Khalatbari



SPACE X

Le lanceur réutilisable devrait développer 13 000 tonnes de poussée, du jamais vu !

Elon Musk part à la conquête de Mars

L'entrepreneur américain milliardaire prévoit un premier voyage en 2024.

« NOUS AVONS FIXÉ UN OBJECTIF CLAIR *pour le prochain chapitre de l'histoire de l'Amérique dans l'espace : envoyer des humains sur Mars dans la décennie 2030 et les faire revenir sur Terre en sécurité.* » Cet engagement pris par le président américain Barack Obama le 11 octobre, est sans doute une réponse « officielle » à l'annonce faite quelques jours auparavant par Elon Musk et sa société privée Space X, lors du congrès international d'astronautique qui s'est déroulé à Guadalajara (Mexique). L'entrepreneur milliardaire américain y a en effet présenté un ambitieux projet de voyage martien, une aventure qui, a-t-il avoué, ne se fera sans doute pas sans pertes humaines — une possibilité rejetée d'emblée par Obama et la Nasa. Le programme de Musk repose sur une fusée et un vaisseau de tailles gigantesques. Le lanceur devrait atteindre 122 mètres et développer une poussée de plus de 13 000 tonnes au décollage, 3,6 fois celle de la fusée Saturn V du programme Apollo conçue dans les années 1960. Elon Musk mise sur le « réutilisable » pour diminuer le prix du « billet » pour les volontaires au départ. L'idée serait d'utiliser le lanceur pour placer d'abord le vaisseau et ses quelques dizaines de passagers en orbite basse, puis, lors d'un second voyage du lanceur, de lui transborder son carburant... pour un aller simple. Car pour réduire encore les coûts, Elon Musk envisage d'installer sur Mars une unité de fabrication du carburant méthane-oxygène liquide nécessaire à un voyage retour — un scénario envisagé par la Nasa depuis des décennies. Le dirigeant de Space X veut aller vite, annonçant un premier voyage pour fin 2024. Il y en aurait ensuite un autre tous les 26 mois, lors de l'alignement Terre-Mars. Pour lui, ce programme équivaut à la construction du réseau ferré transcontinental au XIXe siècle, qui a permis la conquête de l'Ouest américain... ■ **Sylvie Rouat**

@srouat1



Le Commencement de l'infini

Les explications transforment le monde

David Deutsch, Cassini, 518 p., 24 €.

L'auteur, professeur à l'université d'Oxford (Royaume-Uni) est spécialiste de l'informatique quantique, et son précédent ouvrage — *l'Étoffe de la réalité,* paru en français en 2003 — a très vite constitué une référence chez les physiciens. Cette fois-ci, il développe l'idée selon laquelle notre survie — dans un environnement que nous avons transformé par la technologie — ne dépend que de nos connaissances. Certes l'ouvrage est dense et destiné à un public motivé, mais il bénéficie d'une structure qui facilite la lecture : chaque chapitre se termine par un résumé et peut être lu séparément. ■ **Azar Khalatbari**



Dernières Nouvelles des trous noirs

Stephen Hawking, Flammarion / BBC, 108 p. 10 €.

Ce petit livre remporte un pari très ambitieux : à travers des entretiens de Stephen Hawking, le célèbre astrophysicien britannique, avec la BBC, il parvient à nous familiariser avec l'histoire des trous noirs jusqu'à l'hypothèse des univers parallèles, le tout avec un incomparable humour *british* et des dessins à la manière des *comics* des années 1960. Bref un petit bijou à dévorer... pour le prix d'un jambon-beurre en terrasse. ■ **A. Kh.**



Le Mystère Pontecorvo

Frank Close, Flammarion, 458 p., 25 €.

Fuyant Hitler et Mussolini, le physicien Bruno Pontecorvo, spécialiste des neutrinos, idéaliste, humaniste, ne fit pas le choix de bon nombre de ses collègues : il a rejoint l'Union soviétique avec femme et enfants. Son rôle de l'autre côté du rideau de fer dans cette période critique de l'histoire où les grandes puissances se lançaient dans la quête effrénée de la bombe, reste un mystère. Frank Close, physicien à l'université d'Oxford, a mené une enquête minutieuse pour une reconstitution historique à partir des archives... et nous offre ainsi un document qui se lit comme un roman d'espionnage historique. ■ **A. Kh.**

L'innovation pour lutter contre le handicap

À l'occasion de la semaine européenne pour l'emploi qui se tient du 14 au 20 novembre, revue des dernières technologies et des avancées scientifiques qui permettent de surmonter le handicap.

Spectaculaires comme un exosquelette ou invisibles à l'œil nu comme une thérapie génique, les avancées en matière d'accompagnement et de traitement du handicap sont indéniables. Certaines visent l'amélioration de la vie quotidienne. Grâce au numérique, des dispositifs simples telles que les commandes oculaires ou vocales peuvent changer la vie des malades. Dans le domaine de la robotique, la biomécanique et les objets connectés permettent des progrès concrets et mesurables. En parallèle à ces innovations, des chercheurs ambitionnent de trouver des solutions définitives à certains handicaps, comme les techniques de réparation de la moelle épinière ou de l'œil. De nouvelles voies prometteuses, même s'il faut attendre les résultats plusieurs années. Surtout, des chercheurs de disciplines jusqu'à présent très cloisonnées commencent à travailler ensemble, permettant une prise en charge globale du patient. Par exemple, un traumatisme au niveau de la moelle épinière, traité d'abord par voie médicamenteuse, peut ensuite faire l'objet d'une thérapie génique, avant que le patient ne suive une rééducation active. « Ces thérapies collaboratives et globales constituent un véritable espoir aujourd'hui », note le professeur Marc Tadié, président de l'Irme (Institut pour la recherche sur la moelle épinière et l'encéphale.) ■ **Claire Aubé**

Dossier coordonné par **Caroline Brun,** Agence Forum News. Rédaction **Claire Aubé**



WANDERCRAFT

BIOMÉCANIQUE

Des exosquelettes pour remarcher

Un robot qui se fixe aux jambes et au bassin du patient paraplégique et l'aide à marcher : voilà l'exploit auquel sont parvenues les sociétés française Wandercraft, israélienne Argo Medical Technologies et américaine Ekso Bionics. Avec des moteurs commandant les articulations, un logiciel qui recalcule en permanence les mouvements pour se rapprocher de la marche humaine, des capteurs qui enregistrent la position du buste, cet appareillage, pour l'heure encore peu accessible financièrement au particulier (comptez au minimum 30 000 €), devrait être de plus en plus utilisé par les centres de soins.

La technologie au quotidien

Mieux se déplacer, mieux communiquer, retrouver l'usage de ses sens : autant de progrès qui changent la vie.



Le F5 Corpus VS de Permobil permet de de se mettre debout, soit à partir de la position assise soit à partir de la position couchée.

PERMOBIL

FAUTEUILS ROULANTS

Une nouvelle génération

Les fauteuils roulants deviennent intelligents : truffés de capteurs, ils donnent des indications sur les paramètres physiologiques du patient. Le Virtual Seating Coach, une application développée par la société suédoise Permobil, permet de programmer des rappels pour savoir à quel moment changer de position et de degré d'inclinaison du fauteuil. Autre progrès, la société française Nino Robotics a imaginé un fauteuil fonctionnant sur le même principe qu'un Segway — ce véhicule électrique monoplace constitué d'une plateforme munie de deux roues — utilisant le balancement du tronc d'avant en arrière pour le déplacement.



THIERRY PASQUET / SIGNATURES

PROTHÈSE

Du bon usage de l'impression 3D

« *C'est la grande révolution de notre époque* », estime Mohand Slimane, président de l'Ifrath (Institut fédératif de recherche sur les aides techniques pour personnes handicapées). L'impression 3D appliquée à la création de prothèses permet d'envisager une baisse des coûts appréciable. En France, l'un des porte-drapeaux de ce mouvement est Nicolas Huchet *(photo ci-dessus)*, un jeune Rennais amputé à la suite d'un accident de travail qui s'est mis en tête de fabriquer sa propre main de synthèse grâce à l'impression 3D et aux technologies open source (*lire* S. et A. n° 835, *septembre 2016*). En partenariat avec les fablabs de Rennes puis de Berlin, il a conçu et mis au point cette main bionique, dont il a posté ensuite le mode d'emploi sur Internet. Coût de l'opération, baptisée Bionicohand : moins de 1000 € (contre plusieurs dizaines de milliers d'euros pour une prothèse classique). Bien sûr, ces prothèses sont relativement rudimentaires et moins performantes que celles qui existent sur le marché, mais elles ne cessent de s'améliorer. Elles sont surtout plus accessibles. Des projets de fabrication de membres grâce à l'impression 3D existent ainsi dans des pays ravagés par la guerre ou les mines. ■ **C. A.**



BIOM

BIONIQUE

Vers une prothèse universelle

L'Américain Hugh Herr, lui-même amputé des deux jambes, a mis au point une prothèse avec laquelle marcher, bien sûr, mais aussi danser, ou faire du sport. Équipée d'un moteur électrique et de capteurs, pilotée par des microprocesseurs, la BIOM T2 (photo ci-dessus) simule le fonctionnement d'un muscle vivant ordinaire.

ROBOTIQUE

Des compagnons pour les enfants autistes



LEKA

Leka, Paro, Plok : ce sont les petits noms des robots qui ont vocation à sortir de leur bulle les jeunes enfants autistes ou les personnes souffrant d'Alzheimer. Leka *(photo ci-dessus)*, robot lancé par la société française éponyme, est ainsi capable de jouer à cache-cache avec l'enfant ou de le stimuler sensoriellement grâce à tout un concentré de technologies : RFID (récupération et mémorisation de données), Bluetooth, capteurs capacitifs (reconnaissance d'obstacles), IMU (déplacement).

EYE TRACKING

Parler avec les yeux

Communiquer à l'entourage ses intentions, *via* des commandes oculaires et vocales, lorsque l'on est privé de parole à cause d'une sclérose latérale amyotrophique (SLA ou maladie de Charcot) ou du Locked-in Syndrome est désormais possible. Le dispositif Tobii Eye Mobile (Proteor) par exemple, connecté sur une tablette *via* une clé USB, permet de sélectionner des lettres avec précision grâce à la présence de deux caméras infrarouge filmant les mouvements des yeux.



ELLAN LUSTOSA/CITIZENSIDE/AFP

La championne paralympique Marie-Amélie Le Fur au cours de la finale du 400 m à Rio, en septembre, appareillée avec une prothèse « Cheetah Foot ».

HANDISPORT

Des performances toujours plus impressionnantes

Châssis rétrécis, roues inclinées anti-bascule, matériaux à la fois plus légers et plus solides, pneus adaptés, pare-chocs..., les fauteuils roulants des sportifs sont de vrais bijoux technologiques qui ne cessent d'évoluer. Aux derniers jeux Paralympiques de Rio, au Brésil, le tennisman Stéphane Houdet a fait sensation avec un fauteuil lui permettant de jouer à genoux et non plus assis, ce qui lui a donné davantage de puissance dans ses frappes. Ce fauteuil est le fruit de plusieurs années de recherche et de collaboration entre le Centre d'études et de recherche sur l'appareillage des handicapés (Cerah) et les sociétés françaises Chabloz et Corima. En athlétisme, les lames viennent remplacer les tubes des prothèses classiques. Combinant légèreté et robustesse, elles offrent une meilleure restitution de l'énergie. C'est en utilisant ces « *Cheetah Feet* » de la société Össur que la Française Marie-Amélie Le Fur a remporté ses médailles. La jeune femme est aussi l'ambassadrice du jeu vidéo Deux Ex Mankind Divided, qui met en scène des personnages « améliorés ». Pas surprenant lorsqu'on sait que cette championne estime que les performances des para-athlètes dépasseront bientôt celles des valides. En octobre, s'est tenue en Suisse la première édition du Cybathlon, une compétition réservée aux personnes handicapées assistées par robots (*lire* Sciences et Avenir *n° 836, octobre 2016*). Exosquelettes, stimulation électrique des muscles, prothèses à moteur : tout était permis, avec pour objectif de promouvoir auprès du grand public l'utilisation des aides robotiques. ■ **C. A.**

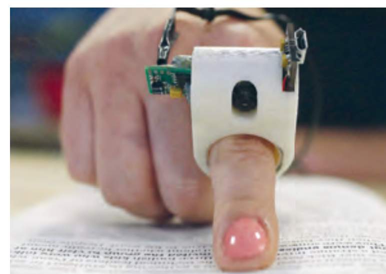
SURDITÉ

Des implants connectés

Toujours plus miniaturisés et discrets, les implants sont désormais connectés. Une application à télécharger sur un smartphone ou une tablette permet de les piloter : volume, balance entre sons aigus et graves, environnement (restaurant, domicile, rue, etc), et géolocalisation des appareils en cas de perte. Exemple le dispositif « Roger » développé par la société suisse Phonak promet aux malentendants de surpasser dans les capacités d'audition des « normo-entendants » grâce à la programmation de « débruiteurs », qui enlèvent tout bruit parasite.

CÉCITÉ

Des dispositifs électroniques très ingénieux



STEPHAN SAVOIA/AP/SIPA

Chaussures munies de capteurs de proximité et d'une puce Bluetooth vibrante synchronisée avec le téléphone, bague liseuse scannant du texte puis le restituant à haute voix *(photo ci-dessus)* : autant d'innovations qui permettent aux personnes malvoyantes de gagner considérablement en autonomie (*voir* S. et A. *n° 828, février 2016 « Spécial Vision »*). Ainsi, chez la société française Lightvision, des lunettes « intelligentes » détectent la partie saine de la rétine chez les personnes atteintes de DMLA (dégénérescence maculaire liée à l'âge) et y projettent les images captées de l'extérieur directement sur cette zone encore sensible.

ÉCHANGES DE BIENS OU DE SERVICES SUR LE NET

I WHEEL SHARE est une application qui permet aux personnes en situation de handicap de partager leurs bons plans ou leurs difficultés dans la vie pratique : **www.iwheelshare.com**
WHEELIZ propose de la location de voitures adaptées entre particuliers. **www.wheeliz.com**
UN GUIDE COLLABORATIF qui donne des informations sur l'accessibilité des lieux ouverts au public. **www.jaccede.com**
DES PETITES ANNONCES GRATUITES spéciales handicapés sur le site **www.handi-occasion.com**


RUSSELL LEE/AP/SIPA

Le bras artificiel conçu à l'université Case Western (États-Unis) permet un maniement très fin et de retrouver une sensation de toucher grâce à des électrodes placées sur les nerfs du membre atteint.


EMOTIV

Des programmes de recherche travaillent sur des dispositifs tels que des casques qui pourraient transformer les ondes cérébrales en signaux informatiques pour commander des objets connectés (ici, le dispositif Emotiv).

Réparer et guérir grâce aux neurosciences

Des recherches récentes utilisant les neurosciences ou les thérapies géniques ambitionnent de considérablement diminuer, voire de faire disparaître le handicap. Mais la prudence reste de mise.

Retrouver la sensation du toucher lorsqu'on a été amputé, ou contrôler un exosquelette par la pensée, voilà deux exemples de réalisations récentes qui semblaient encore du domaine de la science-fiction il y a quelques années. Les chercheurs de l'université de Case Western Reserve (États-Unis) ont ainsi mis au point en partenariat avec l'agence de recherche et de développement du département américain de la Défense un bras artificiel révolutionnaire. En « branchant » les terminaisons nerveuses demeurant sur le membre amputé à une interface nerveuse artificielle, la « *flat interface nerve electrode* », ils ont permis au patient non seulement d'aboutir à un maniement très fin de sa prothèse, mais aussi de récupérer une partie du sens du toucher. D'autres techniques visent à capter les signaux envoyés par le cerveau aux nerfs, puis aux muscles, et à les transformer en commandes spécifiques. L'un des projets soutenu par l'Irme (Institut pour la recherche sur la moelle épinière et l'encéphale) doit ainsi permettre de recueillir un signal émis juste au-dessus d'une lésion, pour le traiter par ordinateur et le renvoyer ensuite sous la lésion. Une façon d'assurer la transmission de l'information en contournant la zone traumatisée. Autre dispositif possible : s'appuyer sur des nerfs actifs et sains, les dévier vers les muscles dont les nerfs ont été détruits par le traumatisme, puis rééduquer le patient pour qu'un mouvement — une contraction d'épaule par exemple — puisse « commander » la prothèse. « *Sur le plan psychologique, cette avancée est fantastique car la personne retrouve du contrôle sur elle-même ; néanmoins, elle nécessite un appareillage lourd et un gros travail de rééducation* », constate le professeur Marc Tadié, président de l'Irme. Une équipe de chercheurs américains vient, elle, de réussir l'exploit d'utiliser ce type de « dérivation neuronale » pour permettre à un jeune tétraplégique de retrouver un usage partiel de sa main grâce à un stimulateur musculaire posé sur son avant-bras.

> Pouvoir capter les signaux envoyés par le cerveau aux nerfs puis aux muscles et les transformer en commandes spécifiques

Piloter par la pensée

D'autres projets ont pour objectif le pilotage par la pensée d'objets connectés, fauteuil roulant ou exosquelette par exemple. Tout l'art est de transformer les ondes

MISSION HANDICAP & EMPLOI SNCF

« C'est la passion des trains qui m'a amené à postuler »

Alexandre Duquesnoy a 22 ans, et habite Marcq-en-Barœul, près de Lille. Il nous raconte son début de parcours réussi au sein de la SNCF, où son syndrome d'autisme Asperger n'a pas été un obstacle.

Pouvez-vous nous raconter votre parcours professionnel ?
J'ai eu, compte-tenu de mon handicap (syndrome d'Asperger), un parcours scolaire *« chaotique »* fait d'expériences négatives et positives car je n'ai pas toujours été compris, voire exclu. À la fin de la 3e, au collège, mes parents m'ont poussé à envisager un parcours qui me permettrait à la fois de vivre de ma passion (les trains !) tout en intégrant un milieu professionnel ordinaire par le biais d'un CAP. C'est donc la passion des trains qui m'a amené à postuler, en 2011, pour un poste d'apprenti au sein du Technicentre Industriel SNCF d'Hellemmes, près de Lille. J'y ai été intégré le 1er septembre. Au niveau professionnel, j'ai travaillé à l'atelier de maintenance des disjoncteurs de toiture des locomotives, et pour la partie formation j'ai suivi les cours au CFA Salvador ALLENDE de Béthune.

Ce CAP (Préparation et Réalisation d'ouvrages électriques) a été aménagé sur 3 ans, en liaison avec la SNCF, l'Agefiph, le CFA Académique de Lille, et le CRA. J'ai obtenu ce CAP en juin 2014. La SNCF a souhaité, avant une intégration définitive, que je consolide ma formation et que je progresse dans l'autonomie, tant professionnelle que personnelle. J'ai donc fait un second CAP (Maintenance Véhicules de Transport Routier) toujours en alternance au Technicentre d'Hellemmes, et au CFA de Béthune. J'ai été affecté à l'atelier maintenance des réducteurs des TGV d'autant que la mécanique me plaît. J'ai obtenu ce deuxième CAP en juin 2016, ce qui m'a permis, après le parcours normal d'embauche, d'intégrer le Technicentre.

Quel poste occupez-vous aujourd'hui ?
Je suis opérateur de maintenance mécanique à l'atelier réducteurs (*« boîte de vitesse »*) des TGV. Je démonte et fait l'expertise de ces pièces au même titre que mes collègues de travail. L'objectif à venir est de pouvoir remonter les réducteurs et de participer pleinement au suivi des documents qualité. Courant 2017, je devrai changer d'atelier pour aller à celui des essieux.

Comment vivez-vous cette expérience ?
Elle est pour moi très positive… puisque je suis embauché avec un métier qui me plaît ! Cela a été, au tout début, un gros changement lors de mon arrivée comme apprenti en 2011, car je suis passé du monde scolaire au monde professionnel et adulte. J'ai dû gérer la relation avec l'autre, qui est une forte caractéristique de mon handicap. Mais mon intégration s'est faite normalement, j'ai été aidé et compris. Mes maîtres d'apprentissage et responsables d'atelier y ont largement contribué avec le soutien de mes collègues.

Avez-vous déjà parlé de votre handicap avec vos collègues ?
Oui, sans problème. D'autant que le CRA (Centre Ressources Autisme) de Lille a tout au long de mon parcours sensibilisé mes collègues à l'autisme ainsi qu'au syndrome d'Asperger.

Comment s'est déroulé votre recrutement ?
Je dirais normalement, avec un contact auprès du Technicentre en étant aidé par mon père à l'époque. L'accueil a été des plus favorables, et la personne en charge des apprentis s'est montrée intéressée. Après notre entretien, j'ai remis un CV, mon dossier d'apprentissage a été ouvert. La suite, vous la connaissez …

Est-ce que des aménagements spécifiques ont été apportés à votre poste ?
Il n'y a pas d'aménagement spécifiques me concernant. Cependant le CRA de Lille a de nouveau fait une sensibilisation, notamment en prévision de mon stage de formation au Technicampus SNCF du Mans qui fait suite à mon embauche. Un point régulier est fait entre mes parents, la DRH, le responsable d'atelier pour pouvoir progresser par étapes tout en tenant compte de mon handicap.

Souhaitez-vous ajouter quelque chose ? :
Je veux dire une seule chose : MERCI à tous ceux qui m'ont aidé et permis d'y arriver. Je suis considéré comme toute autre personne, me sens utile, et non exclu. Une intégration telle que la mienne est possible. La politique handicap de la SNCF est une réalité : il y a une volonté d'aider les personnes avec un handicap.
● **Propos recueillis par Caroline Madeuf – Magazine Handirect**


Alexandre Duquesnoy dans son atelier de travail

Grégory Duez, responsable d'Alexandre Duquesnoy

Je suis dirigeant de proximité de l'unité Réducteurs au Technicentre d'Hellemmes. J'encadre 17 agents sur l'unité de production, dont Alexandre. Il s'est très bien intégré à l'unité. Il est autonome, il participe aux réunions et échange avec les autres agents. Avant son arrivée, une personne du CRA est venue m'expliquer son handicap et m'a donné des conseils, notamment de faire attention aux termes employés, ne pas faire de second degré car le syndrome Asperger peut faire qu'on prend tout au premier degré. Mis à part cela, c'est comme tout le monde. D'ailleurs je ne vois même plus son handicap car il travaille aussi bien que tous les autres agents.

Vincent Patoux, tuteur d'Alexandre Duquesnoy

Je travaille au sein de l'atelier maintenance des réducteurs des TGV au Technicentre d'Hellemmes. J'ai formé Alexandre lors de son second CAP. Tout s'est bien passé, il a bien appris toutes les méthodes et travaille en sécurité. Alexandre avait déjà travaillé dans le service *« Disjoncteurs »*, ce qui fait qu'il connaissait déjà une partie du personnel. Pour ma part je n'avais jamais côtoyé ce handicap mais je n'avais pas d'appréhension. Avant son arrivée, toute l'équipe et moi-même avons été conviés à une journée d'échanges avec ses parents et des psychologues, afin que l'on comprenne son handicap et que l'on soit en mesure de l'accueillir au mieux. Son intégration s'est faite petit à petit. Il est autonome et passionné par ce qu'il fait. Parfois je dois lui dire de prendre des pauses, sinon il n'en prendrait pas ! Lorsqu'il est à son poste, il n'a plus de handicap, il est aussi efficace qu'un autre.

THÉRAPIE GÉNIQUE

Une moisson de promesses

En remplaçant un gène défectueux ou en bloquant l'action d'un gène altéré, la thérapie génique offre des perspectives quasi inespérées dans plusieurs domaines. Exemple avec les accidents de moelle épinière. Les chercheurs avaient déjà observé que les neurones pouvaient se reconstituer autour de la lésion. Le problème réside généralement dans l'apparition d'une cicatrice gliale qui empêche les connexions nerveuses de se reformer. Il s'agit donc d'inhiber l'action des protéines secrétées par les cellules qui constituent habituellement les briques de base de cette cicatrice. Pour cela, les chercheurs utilisent la technique de l'ARN interférent (l'acide ribonucléique, une molécule biologique issue de la transcription de l'ADN par une enzyme). Des petites séquences d'ARN sont introduites par un vecteur viral et bloquent la fabrication de ces protéines. Les neurones peuvent repousser... et la marche est donc à nouveau envisageable ! Pour l'heure, les travaux en sont à l'étape préclinique, avec des tests sur l'animal. *« Si nous parvenons à contrôler l'évolution des gènes injectés, une application à l'homme pourrait advenir d'ici un an et demi à deux ans »*, estime le professeur Marc Tadié, président de l'Irme.

Autre piste, celle de cellules souches « dormantes » dans la moelle et le cerveau qui pourraient être activées et prendre la place des cellules traumatisées. Tout l'enjeu est de parvenir à en faire des cellules différenciées, et non pas de simples cellules de soutien. Les perspectives sont un peu plus lointaines que pour les travaux sur la cicatrice gliale, mais semblent également positives.

En matière de surdité, des recherches sur les cellules ciliées, ces fragiles transmetteurs de signaux au nerf auditif, permettent d'envisager l'amélioration voire la guérison de cas de surdité profonde. En introduisant directement le gène Atoh1 dans la cochlée de souris, des chercheurs américains ont constaté que leurs cellules ciliées parvenaient à se régénérer. À terme, si ces travaux se poursuivent, l'idée serait d'implanter une micropompe dans l'oreille pour injecter ce gène réparateur à l'aide d'un virus inoffensif.

La cécité est un autre domaine dans lequel les thérapies géniques s'avèrent prometteuses. Par exemple l'amaurose de Leber, une dégénération pigmentaire causée par une mutation génétique, devrait pouvoir être corrigée, grâce à l'injection d'une copie « améliorée » de ce gène dans la rétine. Des premiers essais sur l'homme ont eu lieu en 2007. En 2011, le CHU de Nantes a lancé une étude sur neuf patients, dont les résultats sont en cours d'analyse.

Un principe analogue de correction génétique est appliqué dans le traitement de la maladie de Stargardt, la dystrophie maculaire héréditaire la plus courante (1 pour 20 000 ou 30 000 chez l'enfant). ■ **C. A.**



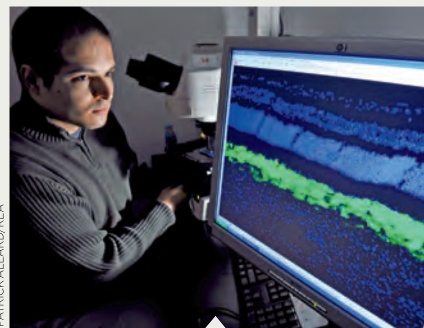
PATRICK ALLARD/REA

Le CHU de Nantes a lancé un essai clinique de thérapie génique sur des enfants atteints d'amarause de Leber, une maladie héréditaire qui conduit à la cécité.



SYLVAIN BONNIOL / LOOKATSCIENCES

Les enfants ont reçu un traitement qui vise à insérer dans les cellules de la rétine la bonne version du gène défectueux pour produire la protéine dont l'absence provoque la maladie.



PATRICK ALLARD/REA

L'étude au microscope en immunofluorescence d'une coupe de la rétine, permet de mesurer l'expression du gène injecté (en vert).

cérébrales en signaux informatiques soit par un dispositif non invasif comme un casque, soit en plaçant directement des électrodes sur le cortex. Cette interface cerveau-machine (ICM) est *« un système de liaison directe entre un cerveau et un ordinateur qui permet d'effectuer des tâches sans passer par les nerfs périphériques ou les muscles »*, selon l'Inserm. Concrètement, on demande au patient d'imaginer la tâche à accomplir ; on enregistre cette activité cérébrale, puis un logiciel interprète ces données et les transforme en commandes pour la machine connectée. Le patient observe le résultat et s'entraîne ensuite à améliorer la performance de l'ensemble. L'un des programmes du centre de recherche Clinatec, à Grenoble, vise ainsi à aider les personnes tétraplégiques à piloter un exosquelette pour se nourrir et remarcher. De son côté, le Dr Christine King, de l'Université de Californie à Irvine (États-Unis), a enregistré les signaux cérébraux émis par des patients paraplégiques à qui elle demandait de commander un avatar virtuel... Puis à force d'entraînement, ces patients sont parvenus à piloter un exosquelette, et enfin, leurs propres jambes équipées d'un système de stimulation électrique (*voir* S. et A *nº 829, mars 2016*). ■ **C. A.**

ON PEUT DONNER DU BONHEUR, ON PEUT AUSSI LE TRANSMETTRE



Léguer au Secours populaire français, c'est multiplier votre bonheur à l'infini pour faire vivre une solidarité de proximité contre la pauvreté et l'exclusion des enfants et des personnes les plus démunis.

LEGS, DONATIONS, ASSURANCES-VIE

APPELEZ LE 01 44 78 22 37



www.secourspopulaire.fr



Secours populaire français • 9/11, rue Froissart - 75140 Paris Cedex 03

DEMANDE DE DOCUMENTATION GRATUITE & CONFIDENTIELLE

À renvoyer à Monique Samson - Secours populaire français - 9/11, rue Froissart - 75140 Paris Cedex 03

❑ **OUI**, je souhaite recevoir le livret sur les legs, donations et assurances-vie par : ☐ COURRIER ☐ E-MAIL

☐ Mlle ☐ Mme ☐ M. Nom : ______ Prénom : ______

Adresse : ______

Code postal : ______ Ville : ______

Téléphone : ______ E-mail : ______

GN 8012

Les informations que vous nous confiez seront enregistrées conformément à la loi Informatique et Libertés du 6 janvier 1978 et gérées de façon strictement confidentielle.



Monique Samson, responsable des relations avec les donateurs

APPELEZ LE 01 44 78 22 37



Le Secours populaire français est une association reconnue d'utilité publique. Exonérée de tous droits de succession, elle vous garantit le respect scrupuleux de vos volontés et la rigueur de la gestion dans l'utilisation des fonds.

Les drones volent au secours de la cité aux taureaux ailés

Ces petits aéronefs réalisent des relevés 3D de l'antique cité mésopotamienne de Khorsabad, saccagée par le groupe terroriste Daech. Une façon de conserver la mémoire des lieux et de fournir des données aux archéologues, qui ne peuvent plus se rendre sur le terrain.

Par Bernadette Arnaud

Dans l'aube à peine naissante, le halo d'un écran illumine la pénombre. Un bourdonnement rompt soudain le silence puis un éclat métallique scintille dans le ciel. Philippe Barthélémy vient de faire décoller un drone depuis un nid d'aigle accroché au flanc des monts Zagros, au Kurdistan irakien. La place, tenue par les peshmergas, combattants kurdes, se situe sur cette ligne de front qui court sur plus de 1000 kilomètres. Elle sépare les paysages arides du Kurdistan de la plaine irakienne de Ninive, en contrebas, où les hameaux sont aux mains des islamistes de Daech, l'organisation terroriste qui occupe le secteur depuis 2014. Le drone vole à 80 mètres d'altitude. L'appareil, équipé d'une caméra, a été programmé pour atteindre les ruines de l'antique Dûr-Sharrukin (Khorsabad), au



BETTY LAFON

nord-est de Mossoul, et prendre des relevés du site saccagé. En mars 2015, le site archéologique a en effet été victime de destructions orchestrées par le groupe terroriste. Plusieurs statues auraient été détruites et le site sérieusement endommagé selon le représentant local des Antiquités, tout comme les célèbres cités antiques de Nimrud et de Ninive. Un acte désormais assimilé à un crime de guerre (*lire* Sciences et Avenir *n° 818, avril 2015*). À raison de 1 km/min, le petit astronef survole déjà les vastes étendues de l'ancienne Mésopotamie, ces terres du Croissant fertile, entre Tigre et Euphrate, berceau des « premières fois » à la fin du IVe millénaire avant notre ère : c'est en effet ici qu'ont été inventés l'écriture (vers 3300 avant J.-C.), les institutions et administrations, les agglomérations monumentales, les systèmes urbains, etc.

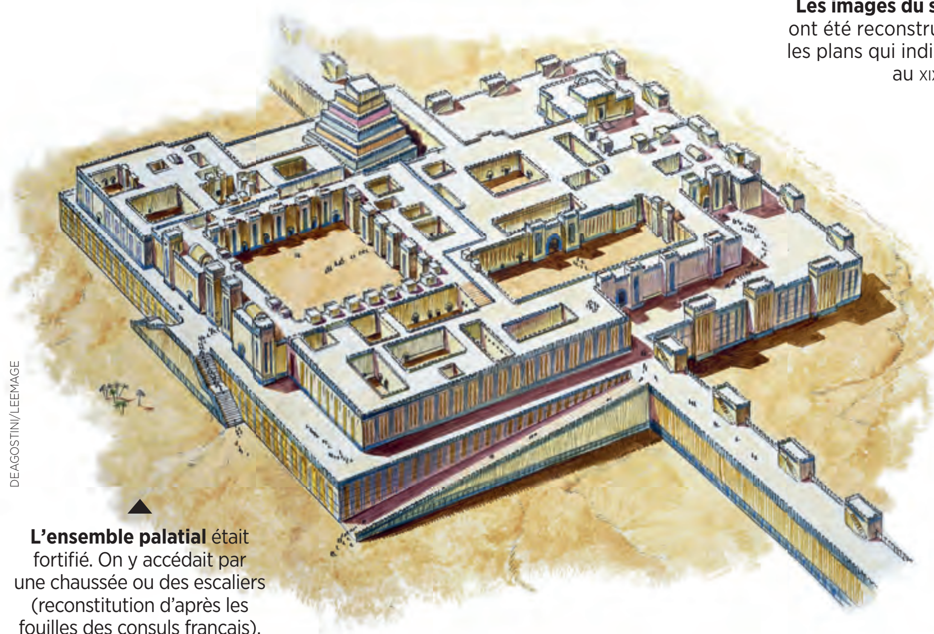
En dépit du conflit qui fait rage, Philippe Barthélémy poursuit l'objectif que s'est fixé sa société Iconem, dont il est l'un des cofondateurs : réaliser des relevés 3D des sites du patrimoine mondial en péril. Des documents sur lesquels compte l'Unesco, tout autant que les directeurs de musées, les conservateurs ou les archéologues qui ne peuvent plus se rendre dans ces zones de combats. En associant drones et photogrammétrie 3D, Iconem a déjà révolutionné la conservation du patrimoine


COURTESY P. BARTHELEMY

« Nous souhaitons montrer que sans pouvoir accéder aux sites, nous pouvons encore les étudier »
Philippe Barthélémy, cofondateur d'Iconem

Les images du site de Khorsabad filmées par un drone ont été reconstruites en 3D. Puis leur ont été superposés les plans qui indiquent les zones archéologiques fouillées au XIXe et au XXe siècle (en rouge).

ICONEM



DEAGOSTINI/LEEMAGE

L'ensemble palatial était fortifié. On y accédait par une chaussée ou des escaliers (reconstitution d'après les fouilles des consuls français).

archéologique avec ses restitutions numériques en Afghanistan, Pakistan, Égypte, Syrie — avec le site de Palmyre, la cité d'Alep ou la mosquée des Omeyyades de Damas — mais aussi en Haïti ou à Pompéi, en Italie. Au Moyen-Orient, il y a urgence. Victime de pillages avec la guerre en Irak depuis 2003, puis, à partir de 2014, avec l'expansion de Daech, tout le secteur archéologique situé au nord de l'Irak est la cible d'exactions de l'organisation extrémiste sunnite. *« L'ensemble de ces événements tragiques nous contraint à nous adapter si nous voulons pouvoir continuer à travailler sur le* ▶

EMPIRE ASSYRIEN

Dûr-Sharrukin, une capitale inachevée

La cité de Dûr-Sharrukin (« la forteresse de Sargon »), aujourd'hui Khorsabad, a été construite en 717 avant notre ère par Sargon II, roi d'Assyrie. Elle abritait, sur une étendue de 10 hectares, le plus vaste palais jamais construit dans cet empire. Il comportait 300 pièces et possédait deux kilomètres de délicats bas-reliefs. Plusieurs temples et une ziggourat (édifice religieux constitué de plusieurs plates-formes) y avaient également été érigés. Mais Sargon étant mort en 705 avant J.-C, quelque temps à peine après l'inauguration de Dûr-Sharrukin, la ville a aussitôt été considérée comme maudite et désertée. Son fils Sennachérib lui préfère Ninive. Après les découvertes des premiers vestiges par les Français Paul-Émile Botta et Victor Place au XIXe siècle — en particulier les célèbres taureaux ailés —, les archéologues américains de l'Institut oriental de Chicago y dégageront de nouveaux temples dédiés au dieu Nabû (divinité du savoir et de l'écriture). Plus tard, entre 1929 et 1935, les archéologues américains de l'université de Chicago exhumeront à leur tour d'autres taureaux ailés. Tous envolés depuis vers les États-Unis.



THE ORIENTAL INSTITUTE OF UNIVERSITY OF CHICAGO

Les taureaux ailés mis au jour par les archéologues américains dans les années 1930.

Proche-Orient, où il est maintenant impossible de se rendre », expliquait Virginia Cassola-Cochin, une jeune archéologue du laboratoire Hiscant de l'université de Lorraine, lors de la journée d'étude organisé sur ce thème en septembre à l'École du Louvre. Et ces relevés aériens de Khorsabad (*lire l'encadré ci-dessus*) sont un exemple des plus concrets du rôle des technologies numériques dans la conservation de la mémoire de ces lieux qui n'ont souvent été qu'en partie étudiés.

Sur son moniteur de contrôle, Philippe Barthélémy suit la progression de son drone parvenu au-dessus des ruines de la ville ensevelie sous des décombres et d'épaisses couches de sable. Quelques murs sont encore debout. Pendant plusieurs minutes, la totalité de la cité quadrangulaire est alors méthodiquement enregistrée selon un fin quadrillage aérien... juste à temps pour éviter un tir de canon des islamistes de Daech qui ont repéré l'appareil et tentent de l'abattre. Le drone amorce aussitôt son trajet de retour. À plus de 150 ans d'écart, il a pu survoler ce lieu où les célèbres gardiens de pierre aux ailes protectrices, les *lamnasu*, ont été découverts au XIXe siècle. Ces imposants taureaux androcéphales, dont certains sont exposés au Louvre, avaient pour rôle de repousser les esprits maléfiques. C'est d'ailleurs grâce à eux que le glorieux passé de la Mésopotamie avait été redécouvert par les Occidentaux. En effet, au printemps de 1843, Paul-Émile Botta, l'un des premiers consuls de France archéologues, avait accidentellement mis au jour Dûr-Sharrukin alors qu'il recherchait Ninive, l'autre cité à l'apogée de l'expansion assyrienne (934-610 avant J.-C.). Du sol où elles sommeillaient depuis des millénaires avaient alors surgi des trésors jusque-là jamais vus car la Mésopotamie n'était alors connue que par les textes bibliques de l'Ancien Testament et quelques auteurs antiques.

Les plus belles pièces ont été expédiées à Paris

Pour seconder Paul-Émile Botta dans sa tâche, le peintre Eugène Flandin avait été chargé de réaliser les esquisses des monuments remarquablement conservés. Mais dès 1844, ne recevant plus de crédits, Paul-Émile Botta avait dû fermer son chantier après avoir toutefois sélectionné les plus belles pièces — selon le principe du partage des fouilles qui prévalait alors — pour les expédier à Paris. Mais les Britanniques étant revenus travailler dans la région de Ninive à partir de 1851, la France fait alors appel à Victor Place, un autre consul, pour terminer l'étude de Khorsabad. En poursuivant les travaux au nord-ouest du palais de Sargon que Paul-Émile Botta n'avait fait qu'« écorner », selon le célèbre assyriologue Jean Bottéro, Victor Place met au jour un ensemble palatial prestigieux.

Cette fois, la plupart de ces trésors n'atteindront jamais la France... Les *keleks*, embarcations qui transportent les antiquités, sombrent en effet dans le chenal Chatt el-Arab après avoir été attaqués par des tribus insurgées. Seules 26 caisses sur les 236 transportées parviendront à Paris en 1856. *« Khorsabad a été une découverte majeure, et les majestueux taureaux sont à l'origine de toute la collection d'Assyriologie du Louvre »*, rappelle Ariane Thomas, du département des antiquités orientales du célèbre musée parisien. Au XIXe siècle, le palais du Louvre était en effet devenu le premier musée assyrien du monde, Louis-Philippe inaugurant même en grande pompe en 1847 les salles où le public découvrait ces trésors si différents de ceux rapportés d'Égypte par Bonaparte. Une prééminence tant archéologique que politique que la France, en souhaitant jouer un rôle leader dans la protection des sites du patrimoine universel menacés, réaffirme aujourd'hui.

À la demande du président de la république François Hollande, Jean-Luc Martinez, président-directeur du musée du Louvre, a présenté 50 mesures en novembre 2015 (*lire hors-Série* Sciences et Avenir *n° 185, avril/mai 2016*) parmi lesquelles l'ouverture, dès ce mois de novembre, d'une vaste exposition consacrée à la Mésopotamie au musée du Louvre-Lens et dont Ariane Thomas est commissaire *(voir ci-contre)*. Au même moment, une autre exposition ouvrira, elle, au Grand Palais, à Paris, associant cette fois le Louvre et Iconem. C'est là que les visiteurs pourront découvrir les étonnantes images de Khorsabad collectées par le drone et restituées en 3D. Car à partir des relevés des destructions au sol — blocs de pierre, entrées de tunnels, vestiges de murs et traces de pillages —, les ingénieurs d'Iconem ont complété les images avec les plans de fouilles datant des XIXe et XXe siècles : les ensembles monumentaux anciennement dégagés et les temples érigés sur des terrasses artificielles ont ainsi retrouvé virtuellement leur emplacement. Autant de documents saisissants qui ont été également transmis à l'Unesco et seront mis en ligne, à disposition des chercheurs. *« Nous souhaitons montrer que sans pouvoir accéder aux sites, nous pouvons encore les étudier »*, explique Philippe Barthélémy.

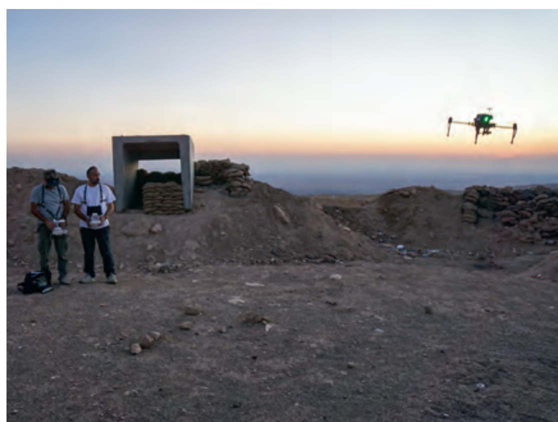
La création d'un fonds mondial pour la sauvegarde du patrimoine en danger a également été annoncée par le président français François Hollande en septembre au Metropolitan Museum de New York. Fonds qui devrait être officiellement créé le 2 décembre, lors de la conférence internationale organisée à Abu Dhabi (Émirats arabes unis), en marge de l'achèvement du « Louvre des sables ». Sur le terrain, l'enregistrement des sites du patrimoine en danger continuera. Cette fois en direction d'Our et de Babylone. La Mésopotamie à tire d'aile. ■

@NarudaaArnaud

DEUX EXPOSITIONS À LENS ET PARIS

- **Louvre-Lens :** « L'Histoire est née en Mésopotamie », du 2 novembre au 23 janvier 2017.
- **Grand Palais :** « Sites éternels. De Bâmiyan à Palmyre, un voyage immersif au cœur de la mémoire des sites du patrimoine universel », 14 décembre au 9 janvier 2017.







PHOTOS : ICONEM

Les drones parcourent environ 20 km depuis les monts Zagros, au Kurdistan irakien, avant d'atteindre Khorsabad.

À l'écoute de Neandertal

Si l'anatomie de l'oreille des néandertaliens présentait des différences notables avec la nôtre, son fonctionnement aurait en revanche été très similaire.



ELISABETH DAYNES / LOOKATSCIENCES

SI LES NÉANDERTALIENS AVAIENT DE L'OREILLE, ce n'était pas forcément la même que la nôtre… Une équipe de chercheurs de la société Max-Planck (Allemagne) et du collège universitaire de Londres (Royaume-Uni) s'est penchée sur les capacités auditives de nos cousins disparus et en a tiré de surprenantes conclusions : si anatomiquement leur oreille moyenne était très différente de la nôtre, cela n'aurait finalement pas changé grand-chose au niveau fonctionnel, et les néandertaliens auraient entendu peu ou prou la même chose que nous.

Pendant longtemps, étudier l'audition de *Homo neanderthalensis* est apparu impossible… faute de fossiles. En effet, *« toute l'ossature de l'oreille moyenne tient sur une pièce de un centime ! Ce sont les plus petits os de notre organisme »*, rappelle Jean-Jacques Hublin, de l'institut Max-Planck d'anthropologie évolutionnaire (Leipzig, Allemagne), qui a dirigé l'étude. D'où l'extrême fragilité et la rareté des fossiles d'osselets qui composent l'oreille moyenne. Pour déterminer quelles formes pouvaient avoir le marteau, l'enclume et l'étrier — les trois osselets de l'appareil auditif —, il a fallu attendre que les chercheurs aient l'idée d'étudier en profondeur les crânes déjà découverts. *« Un de nos projets à Leipzig a été d'explorer les scanographies à haute résolution réalisées au fil des années sur de nombreux fossiles néandertaliens pour y chercher des osselets de l'oreille moyenne. Par cette méthode, nous avons pu en découvrir et analyser 22 provenant de 14 individus. »* Ces osselets ont été comparés avec ceux des grands singes et des humains modernes. *« À notre grande surprise, l'oreille moyenne de* H. neanderthalensis *s'est révélée très différente de celle de l'humain moderne. Pour certains os, il y a autant de différences entre un néandertalien et un humain moderne qu'entre ce dernier et les grands singes. »*

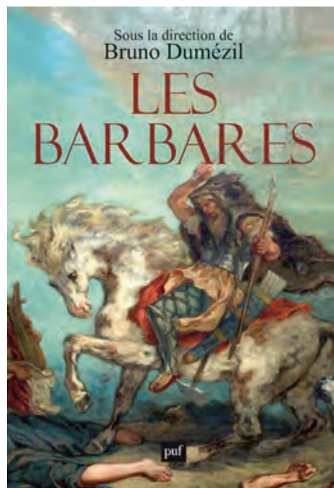
Les osselets de l'oreille diffèrent des nôtres comme le montre le marteau (en haut) comparé à celui de l'homme moderne (en bas).



À la fois très proche et très différent de nous…

Pourtant, et ce fut la seconde surprise de l'étude, l'analyse des structures entourant les osselets a montré que les paramètres fonctionnels de l'oreille moyenne de Neandertal étaient très similaires à ceux de nos oreilles. En clair, bien que les osselets diffèrent en forme, ils fonctionnaient de manière analogue.

Alors *quid* du langage articulé ? Pour Jean-Jacques Hublin, *« cette découverte ne nous dit malheureusement rien pour l'instant sur la complexité du langage des néandertaliens. Comme l'instrument de musique ne nous dit rien sur les compétences de celui qui en joue »*… Selon le chercheur, l'anatomie de l'oreille moyenne serait avant tout dictée par des processus de développement. *« Une face et un cerveau qui croissent différemment chez l'homme moderne et le néandertalien donnent des bases de crâne bien différentes et des morphologies distinctes pour les osselets de l'oreille moyenne. C'est tout le mystère de Neandertal, à la fois très proche et très différent »*, conclut Jean-Jacques Hublin. ■ **Hervé Ratel**



Sous la direction de Bruno Dumézil, PUF, 1680 p., 32 €

Les Barbares

Pour les Grecs anciens, les Barbares c'était les « autres ». Ceux qui communiquaient par des borborygmes incompréhensibles. De cette conception à la figure du Barbare telle qu'elle apparaît dans l'imaginaire romain ; des grandes invasions de l'Antiquité tardive au Moyen Âge en passant par les représentations modernes et contemporaines de la barbarie, le médiéviste Bruno Dumézil a réuni une équipe de 145 spécialistes pour rédiger cet épais dictionnaire. Une somme passionnante consacrée à *« celui qui apparaît moins aujourd'hui comme l'ennemi irréductible du "civilisé" que comme un autre nécessaire pour se définir soi-même »*. Qu'entend-on par « Barbare » ? Les notices très érudites multiplient les approches, linguistiques, philosophiques, archéologiques, muséographiques, ethnographiques ou historiques, cédant parfois la place à des entrées plus inattendues comme Astérix, le héros éponyme de la bande dessinée, ou encore *Game of Thrones*, série culte d'*heroic fantasy*. Une exploration complète, et tous azimuts, des différents visages de la « barbarie ». ■
Bernadette Arnaud

PREMIERS HOMMES

Pascal Picq, Flammarion, 342 p., 22,90 €



Le paléo-anthropologue Pascal Picq livre ici un récit captivant de notre évolution. Entre -23 millions d'années et -200 000 ans, on suit l'émergence des hominoïdes, le buissonnement des préhumains, la révolution culturelle et technologique de *Homo erectus* puis le déploiement de nos ancêtres directs *H. sapiens*. De quoi renouer avec la fierté d'être des grands singes. ■ **R. M.**

L'ANNÉE SANS ÉTÉ
LE VOLCAN QUI A CHANGÉ LE COURS DE L'HISTOIRE

Gillen D'Arcy Wood, La Découverte, 301 p., 22 €



En avril 1815, l'éruption du Tambora, dans l'île indonésienne de Sumbawa été à l'origine d'une succession de désastres. Mené à la façon d'une enquête policière, ce livre revient sur cette catastrophe écologique meurtrière et ses répercussions tragiques, famines et épidémies. ■ **B. A.**

DVD

LA CORDE DU DIABLE

Sophie Bruneau, Alter Ego Films, Les Films du Nord, RTBF Bruxelles, 88 min, 22 €



En colonisant le sol américain, les Européens ont transformé les espaces ouverts des Amérindiens en propriétés closes. Filmant les paysages, la documentariste révèle les changements opérés par ce morcellement des terres. L'acteur principal est le fil barbelé, outil indispensable à la « conquête de l'Ouest » et à la délimitation des frontières. ■ **I. do O'G.**

Trésor du terroir Les noms de lieux de la France



Roger Brunet, CNRS Éditions., 656 p., 39 €

D'où viennent les noms de lieux rencontrés en traversant la France ? Que signifient les Plessis, Chaumont, Aulnay ou Condamine trouvés à travers le territoire, quand ce n'est pas les croquignolets Pet de Grolle, Cocumont ou Tartifume, sans oublier les Croisic, Saut du Loup et autres Pissevielle ? *« On a envie de savoir. On aimerait savoir. On veut savoir ! »*, s'exclame Roger Brunet, l'auteur de ce formidable travail. Et on l'apprend. D'autant que dans noms de lieux, il y a « nom », et il y a « lieu ». Et c'est justement dans la façon dont ils ont pu être attribués autrefois, que l'auteur a voulu apporter sa contribution en ajoutant au regard des linguistes, celui du géographe et de l'historien, qu'il est. On découvrira au passage les odonymes, les noms de voies de communication, parmi les 25 000 noms de lieux (toponymes) ici éclairés. En fin d'ouvrage, un index permet de se précipiter sur tous ceux qui nous sont chers. Un livre passionnant (et savant), que l'on a bien du mal à lâcher ! ■ **B. A.**

Darwin, Bonaparte et le Samaritain
Une philosophie de l'histoire



Michel Serres, le Pommier, 250 p., 19 €

Pour la première fois, le philosophe et historien des sciences Michel Serres aborde de front l'histoire, politique notamment. Et propose d'emblée (à défaut de la renverser) de monter sur la table pour s'ouvrir à d'autres perspectives. Pourquoi se limiter en disant que *« l'histoire commence avec l'invention de l'écriture humaine »* ? Si l'on considère que l'écriture est *« un ensemble de traces qui codent un sens »*, alors les molécules, les plantes, les roches, les planètes, étoiles et galaxies en laissent aussi que la science s'attache à déchiffrer. Dès lors, si l'histoire commence avec toutes ces écritures, elle doit commencer avec le Big Bang. Pour livrer son grand récit et étayer ses *« trois âges de l'histoire »*, le philosophe convoque ensuite Darwin — la théorie de l'évolution sur des milliards d'années —, Bonaparte — et les meurtriers de masse de l'histoire locale — pour finir par le Bon Samaritain, héros d'un nouvel *« âge doux »* pour la planète et l'humanité. Un essai optimiste. ■ **Rachel Mulot**

Comment limiter le coup de chaud

La COP22 se réunit début novembre à Marrakech, au Maroc, pour mettre en œuvre l'accord de Paris signé fin 2015 et ratifié depuis par 55 pays. Objectif : limiter la hausse des températures à 1,5 °C en 2100 et non plus 2 °C. Il en va de la survie de certains pays, tout ou presque se jouant dans les quinze ans à venir.

Par Loïc Chauveau

TOUJOURS PLUS CHAUD. Cela fait seize mois d'affilée que les records sont battus. Ainsi, au mois d'août, la température moyenne terrestre s'est établie à 15,6 °C, soit 0,9 °C au-dessus de la moyenne du siècle dernier. Il est grand temps de mettre la main sur le thermostat pour tenter de réguler ce qui peut l'être encore ! Ce mois de novembre, c'est à Marrakech (Maroc) que la COP22 devrait commencer à mettre concrètement en œuvre l'accord de Paris après que plus de 55 pays — représentant plus de 55 % des émissions des gaz à effet de serre — ont ratifié ce texte. Celui-ci avait été négocié par les 195 États membres de l'ONU le 12 décembre 2015, lors de la COP21 qui s'était tenue dans la capitale française. Place à l'action ! L'objectif ? *« Contenir l'élévation de la température moyenne de la planète nettement en dessous des 2 °C par rapport aux niveaux préindustriels et poursuivre l'action menée pour limiter l'élévation des températures à 1,5 °C. »* Une véritable gageure !
Arrêtons-nous en effet sur cette très importante mention du « 1,5 °C » : celle-ci a été « arrachée » dans les tout derniers moments de la COP21 par les petits États insulaires menacés par la hausse du niveau des océans. Et pour cause ! Entériner 2 °C d'augmentation d'ici à 2100 est, en effet, synonyme pour eux d'une submersion quasi certaine de leurs îles et atolls… *« Les gouvernements du monde ont donc été sages de fixer la limite bien en dessous des 2 °C »*, assure ainsi le physicien allemand Hans Joachim Schellnhuber dans *Nature Climate Change* de juillet. Car pour le fondateur de l'Institut de recherche sur les impacts du climat de Potsdam (Allemagne), ce petit écart de 0,5 °C négocié au dernier moment marque le passage entre le climat de l'holocène, qui prévaut sur la planète depuis 11 700 ans, et… un saut dans l'inconnu.

Des signes de changement irréversible

Pour en avoir vraiment le cœur net, les gouvernements ont demandé au Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Giec), qui n'avait jamais encore planché sur le scénario à 1,5 °C, de produire un rapport qui sera rendu en 2018. Le scénario le plus vertueux du Giec se calait en effet sur 2 °C. Mais sans attendre les conclusions, il suffit de lire certaines études régionales pour se faire une idée ! Les travaux sur les pôles notamment permettent dès maintenant d'appréhender l'importance majeure de ce demi-degré de différence… tout simplement parce que cette limite est déjà atteinte dans certains points du globe ! *« Les variations régionales étant très importantes, ce 0,5 °C représente en réalité 2 à 3 °C en Arctique et Antarctique »*, assure la climatologue Valérie Masson-Delmotte *(lire l'interview p. 74)*. Hans Joachim Schellnhuber ne s'y trompe pas : c'est sur les observations du comportement des glaciers polaires qu'il s'appuie pour pointer le risque d'un changement irréversible du climat. Depuis une dizaine d'années, les chercheurs se focalisent en effet sur les « tipping points », ces points de bascule provoquant un changement radical sans retour en arrière possible. *« Ce point pourrait bien avoir déjà été atteint pour la banquise du bassin d'Amundsen dans l'Antarctique Ouest »*, précise ainsi le spécialiste. D'autres *tipping points* se dessinent avec la fonte des glaciers du Groenland et de la banquise arctique, la disparition des glaciers alpins, et le blanchiment quasi total des massifs coralliens *(voir l'infographie ci-contre)*.

INFOGRAPHIES : MEHDI BENYEZZAR POUR SCIENCES ET AVENIR

+1,5 °C

+2 °C

+1,5 °C		+2 °C
+1,1 mois	Durée des vagues de chaleur	+1,5 mois
+5 %	Intensité des précipitations	+7 %
Blé **+2 %** / maïs **-1 %** / soja **+7 %**	Production de céréales	Blé **=** / maïs **-6 %** / soja **+1 %**
+9 %	Pénurie d'eau douce	+17 %
+40 cm	Montée de la mer	+50 cm
90 %	Coraux blanchis	98 %

À quoi ressemblera le monde, avec 1,5 °C ou 2 °C de plus (par rapport à l'ère préindustrielle) ? Cette infographie, inspirée d'un travail de l'Institut de Potsdam (Allemagne), illustre la différence d'impact climatique au niveau global. Des précisions d'ordre régional ou temporel sont apportées dans le commentaire ci-dessous.

Chaleur. Dans les régions tropicales, les vagues de chaleur pourront durer de 2 à 3 mois supplémentaires.

Précipitations. L'accroissement de l'intensité des précipitations est dû au réchauffement des hautes latitudes, au-delà de 45° nord. Les régions de mousson seront les plus gravement affectées.

Céréales. Les diminutions de rendement sont plus fortes pour les régions tropicales où la production de blé dégringole jusqu'à 16 %, celle du maïs jusqu'à 6 %. Au nord, la production pourrait croître par fertilisation par le CO_2.

Eau disponible. Cette baisse est attendue pour la Méditerranée, mais aussi les régions subtropicales sèches comme l'Amérique centrale et l'Afrique du Sud.

Niveau de la mer. De 2081 à 2100, la montée des eaux se poursuivra au rythme de 4 mm/an ou de 5,5 mm/an selon la hausse de température.

Coraux. Plafonner le réchauffement à 1,5 °C en 2050 limiterait le blanchiment à 70 % en 2100, contre 99 % si la hausse est de 2 °C.

INTERVIEW

VALÉRIE MASSON-DELMOTTE

« Il faut tout mettre en œuvre pour inverser la courbe »



M. ZAZZO / PASCO & CO

Valérie Masson-Delmotte est paléoclimatologue à l'Institut Pierre-Simon-Laplace et vice-présidente du groupe I du Giec.

Vous qualifiez de « dangereuse » une hausse globale de température de 2 °C dans un article que vous avez cosigné* avec James Hansen, de l'université de Columbia (États-Unis). Pourquoi un terme si fort?
Parce que l'article démontre que la fonte de la calotte Antarctique est d'une importance planétaire! Celui-ci traite des relations entre océan, atmosphère et banquise : James Hansen s'y interroge sur les conséquences sur le climat global de la déstabilisation de la calotte antarctique à partir des données paléoclimatiques, de la modélisation et des observations sur le comportement des glaces des pôles. Le cinquième rapport du Giec avait déjà montré qu'il y a un « effet de seuil » au-delà duquel la déglaciation du Groenland sur plusieurs siècles devient irréversible. Pour l'Antarctique, c'est à une « débâcle » des glaciers que l'on va assister, avec des conséquences bien au-delà de la montée du niveau des mers. Les courants marins globaux qui influent sur la température de surface des mers seront affectés. Conséquence : les tempêtes vont se multiplier dans de nombreuses régions et les moussons seront perturbées. Parallèlement, la capacité de l'océan à absorber du dioxyde de carbone diminuera. Ces effets en cascade peuvent être qualifiés de « dangereux ». Ce que l'on ne connaît pas, ce sont les seuils à partir desquels les phénomènes s'emballent et deviennent irréversibles.

Le Giec doit remettre un rapport en 2018 sur un scénario de hausse limitée à 1,5 °C. Qu'en attendez-vous?
Il est largement préférable de limiter la hausse à 1,5 °C plutôt qu'aux 2 °C que préconisait le plus vertueux des quatre scénarios élaborés jusqu'alors par le Giec. Les modèles devront nous fournir les trajectoires à suivre pour y parvenir et donner les bénéfices que l'humanité peut retirer d'une action rapide. À 1,5 °C, de très nombreuses conséquences peuvent être évitées alors qu'à 2 °C, la moitié de la population mondiale devra faire face aux effets du changement climatique.

Quelle est l'urgence à agir?
Si l'on suit les tendances actuelles sans réagir, nous devrions atteindre le 1,5 °C autour de 2025. Il ne faut donc pas attendre 2020, date de l'entrée en vigueur de l'accord de Paris! Il faut tout mettre en œuvre tout de suite pour que le pic de température intervienne le plus tôt possible et qu'on inverse ensuite la courbe.
Propos recueillis par L. C.

* *Atmospheric Chemistry and Physics*, mars 2016.

Sans connaître des situations aussi dramatiques, la plupart des écosystèmes mondiaux vont subir des changements insidieux. Chercheur au Centre européen de recherche et d'enseignement des géosciences de l'environnement (Cerege), Joël Guiot s'est livré à un très instructif exercice de modélisation du Bassin méditerranéen. « *Nous avons découpé les pays riverains de la Méditerranée et de la Mer noire en 3000 "boîtes" de 100 kilomètres de côté dont nous avons modélisé le couvert végétal à partir du climat actuel*, explique-t-il. *Nous y avons ensuite appliqué les changements de température et de précipitations respectivement pour 1,5 °C et 2 °C.* » Résultat : « *À 2 °C en 2100, 13 % des "boîtes" connaissent une désertification due au fait que la disponibilité en eau diminue de manière significative. À 1,5 °C, ce pourcentage est presque divisé par deux !* » Preuve à nouveau du fort impact du 0,5 °C de différence, en particulier sur l'indépendance alimentaire de la région. Ainsi, si les rivages méditerranéens ont

peu à redouter d'une hausse du niveau de la mer, la baisse des précipitations va en revanche affecter toute la production agricole. D'autres travaux de modélisation ont exploré la piste du 1,5 °C, la seule qui laisse une porte ouverte à l'optimisme avec un retour en arrière possible. En effet, tous ces scénarios montrent que le montant maximal d'émissions est suivi par un lent déclin des températures moyennes mondiales. *« Si l'on parvient à contenir la hausse à 1,5 °C, on obtient une baisse des températures mondiales à la fin du siècle (2091-2100) d'au moins 0,05 °C par décennie »*, affirme ainsi Joeri Rogelj, de l'Institut des sciences du climat de Zurich (Suisse). L'humanité aura alors réussi à échapper *in extremis* au réchauffement climatique !


RAYMOND ROIG/AFP

La sécheresse de cet été 2016 a provoqué une forte baisse de tous les rendements agricoles.

Les quinze prochaines années seront cruciales

L'objectif de l'accord de Paris arraché par les petits États insulaires est donc bien pertinent. Reste à l'atteindre. Ce qui équivaut à franchir un obstacle d'une hauteur... vertigineuse ! Surtout concernant les teneurs en CO_2 que l'humanité peut s'autoriser à rejeter dans l'atmosphère. *« Sachant que la teneur actuelle est de 400 ppm* [parties par million], *le scénario à 1,5 °C implique qu'elle n'excède pas 420 à 440 ppm en 2100, alors que les scénarios à 2 °C atteignent 455 à 480 ppm »*, évalue Joeri Rogelj. Autrement dit, il ne faudra pas rejeter plus de 200 à 415 milliards de tonnes de CO_2 d'ici à 2100... alors que l'on parvient à grand-peine à ne pas dépasser chaque année 35 milliards de tonnes de CO_2, dont 60 % sont absorbés par le sol et les océans. Ce qui, en toute logique, revient à dire qu'il faudra cesser de brûler du charbon, du gaz et du pétrole... entre 2045 et 2060. Une grande partie du pari va donc se jouer dans les 15 prochaines années : les secteurs industriels, des transports et du bâtiment devront enfoncer à toute force la pédale de frein avec 25 à 40 % d'émissions en moins par rapport à ce qui était prévu dans le scénario à 2 °C. Et il faudra ouvrir le portefeuille : le montant d'investissements dans les énergies propres et la réduction des besoins énergétiques devra être bien plus élevé que ce qui est aujourd'hui consenti.

L'Institut des sciences du climat plaide notamment pour un prix du carbone quatre à cinq fois plus cher dès 2020 (la tonne de carbone varie actuellement de quelques euros à 100 € en Suède). La transition énergétique doit donc être accélérée. Mais quelle est l'ampleur de l'effort ? L'ONG Oil Change International a calculé que l'utilisation des gisements d'hydrocarbures et de charbon que l'industrie est sur le point de mettre en perce suffira à dépasser les 2 °C. Il ne faudrait donc pas exploiter de nouveaux champs de charbon ou de pétrole — *a fortiori* de gaz de schiste — et même stopper des mines qui sont actuellement en production ! Ce qui reviendrait à cesser d'exploiter les schistes bitumineux canadiens, le gaz de schiste américain et de renoncer à mettre en valeur les nouveaux gisements de gaz de Sibérie ou des champs pétrolifères iraniens.

Stocker le CO_2 en excès serait-il une alternative ? En aucun cas. Même si les techniques industrielles de captage et stockage progressaient, cela ne résoudrait qu'en partie le problème. Et améliorer l'efficacité des puits de carbone naturels comme les sols agricoles impose un changement de modèle en passant de l'agriculture intensive à une agronomie plus respectueuse de l'environnement. Autant de défis auxquels vont s'attaquer dès le 8 novembre à Marrakech les négociateurs de la mise en œuvre de l'accord de Paris. ■

PRÉSIDENTIELLE AMÉRICAINE

Et si Donald Trump était élu ?

Le 8 novembre, jour de l'ouverture de la COP22, les électeurs américains auront à choisir comme président entre un climatosceptique assumé et une convaincue du risque climatique. Pour le républicain Donald Trump, le réchauffement est « une blague » tandis que la démocrate Hillary Clinton promet un vaste plan en faveur des énergies renouvelables. L'élu pourra décider ou non un retrait de l'accord de Paris, mais il devra respecter le délai de 4 ans prévu par la convention-cadre de l'ONU. Il y a un précédent. En 2011, le Canada s'est retiré du protocole de Kyoto. Mais il est probable qu'en cas de retrait des États-Unis, les cinquante États fédéraux et les villes américaines qui ont lancé des politiques de réduction des gaz à effet de serre continueraient à agir ***(lire aussi p. 128)*****.**



Le Dr Pathak (au centre) lutte pour améliorer les conditions sanitaires en Inde.

Bindeshwar Pathak : une main tendue aux intouchables

Le combat humanitaire de ce riche sociologue est retracé par les photos de Xavier Zimbardo exposées au Festival nature de Montier-en-Der, dont « Sciences et Avenir » est partenaire.

Bindeshwar Pathak, 73 ans, s'est choisi un destin à rebours de ses origines. Sa caste brahmane lui interdisait tout échange avec les intouchables, ces laissés-pour-compte relégués en Inde aux tâches les plus repoussantes. Révolté par leur condition d'exclus et animé par le rêve de Gandhi de les émanciper, ce sociologue de formation a mis sa fortune et sa vie au service de cette cause. Pathak a ainsi créé en 1970 l'organisation Sulabh International, consacrée à l'amélioration du niveau de vie des plus démunis. Il a concentré son action sur l'amélioration des conditions sanitaires, avec une idée simple : pour que les intouchables ne soient plus contraints à ramasser les déjections de tous, il fallait qu'existent des toilettes pour le plus grand nombre ! C'est ainsi qu'ont vu le jour et se sont répandues dans villages et écoles des toilettes à doubles fosses, peu gourmandes en eau et dont le but est de recycler les matières fécales en compost. De quoi enclencher un cercle vertueux. L'action de Bindeshwar Pathak porte aussi sur l'assainissement de l'eau, la promotion de l'éducation et le soutien à l'insertion professionnelle. Elle lui a valu de multiples récompenses et une invitation à Paris en 2015 lors de la COP21 grâce à la médiation de Xavier Zimbardo, l'auteur des images publiées ici. Ce reporter français de renommée internationale, âgé de 61 ans, conjugue depuis longtemps son engagement dans le social et la photographie. Il a placé son projet au long cours autour de l'entreprise de Bindeshwar Pathak, démarré en 2013, sous le signe de leur rêve commun : celui d'une fraternité triomphant des pires préjugés. ■

Andreina De Bei

Photos : Xavier Zimbardo







De haut en bas et de gauche à droite : Dans le village de Hermithala (État de Haryana, Inde), la construction de toilettes à deux fosses (compostage et recyclage des déjections) est financée et supervisée par l'organisation Sulabh International. L'ONG de Bindeshwar Pathak a aussi mis en œuvre le plan « Clean India », afin de généraliser l'installation de toilettes dans les écoles, créé à Delhi des lieux de distribution automatique d'eau potable très bon marché, et installé dans de nombreux villages du Bengale-Occidental des systèmes de filtration et d'épuration des eaux.



PARTENARIAT SCIENCES AVENIR

Le Festival Photo Montier, rendez-vous international de la photo animalière et de nature, fête ses vingt ans en s'ouvrant à l'ethnologie. Aux côtés de Vincent Munier, Laurent Ballesta, Jim Brandenburg ou Christine et Michel Denis-Huot — spécialistes de la photo animalière — seront présents les photographes voyageurs Roland et Sabrina Michaud et Nicolas Mingasson. 40 000 visiteurs sont attendus du 17 au 20 novembre à Montier-en-Der (Haute-Marne) où se dérouleront des dizaines d'expositions, conférences…
Rens. : 03 25 55 72 84
www.photo-montier.org



WILD HORIZONS/UIG/GETTY IMAGES

Le coq doré sauvage (*Gallus gallus*) se maintient sur l'île de Kauai (Hawaii) depuis 1200 ans.

La domestication est sans retour

Une expérience montre que le retour à la vie sauvage de poulets n'affecte pas les mêmes gènes que ceux modifiés par la domestication.

Le retour à la vie sauvage (la « féralisation »), est-il l'exact contraire de la domestication ? Les processus de sélection génétique en œuvre sont-ils les mêmes ? Une équipe de l'université de Linköping (Suède) s'est attelée à répondre à ces questions fondamentales sur l'évolution des espèces. « *Nous voulions voir si la féralisation suit le même processus que la domestication, mais dans une autre direction*, explique Dominic Wright, principal auteur de l'étude parue dans *Nature Communications. Nos résultats montrent que ce n'est pas le cas. Ce sont des gènes différents qui sont affectés quand des poulets domestiques retournent à la vie sauvage.* »

Poules et coqs sont des sujets rêvés pour ce genre d'études. Tous ceux des basses-cours sont en effet issus d'une seule et même espèce, le coq doré (*Gallus gallus*), originaire du Sud-Est asiatique. Cette souche sauvage perdure du sud de la Chine à l'Indonésie ainsi que dans certaines îles d'Océanie et reste ainsi le témoin de ce à quoi cet oiseau pouvait ressembler il y a 8000 ans, lorsque l'homme a entrepris de le domestiquer. La sous-espèce *Gallus gallus domesticus* est aujourd'hui bien différente de ses origines. La crête des coqs domestiqués est plus large que celle des sauvages. Les poules, elles, ont majoritairement un plumage uni alors que les sauvages sont très colorées. En outre, elles couvent moins — un trait sélectionné par l'homme pour augmenter la production d'œufs — et sont nettement moins farouches.

Un laboratoire naturel dans l'archipel de Hawaii

Les chercheurs suédois ont trouvé dans l'île de Kauai de l'archipel de Hawaii le laboratoire naturel qu'ils cherchaient. Le coq doré s'y maintient à l'état sauvage depuis son arrivée, il y a 1200 ans, séparé des élevages. Or, dans les années 1980 et 1990, les tempêtes tropicales Iniki et Ewa ont permis aux poulets domestiques de s'échapper. Depuis, ces oiseaux se croisent avec la souche sauvage, donnant naissance à une multitude d'hybrides reconnaissables à leur plumage, complexe mélange des deux souches.

Les chercheurs avaient déjà remarqué un phénomène étrange : les coqs revenus à l'état sauvage récupèrent des crêtes plus petites alors que la taille de cet attribut augmente l'attrait sexuel et donc les chances de se reproduire. Mais ce retour en arrière ne se produit pas en affectant les gènes qui avaient été modifiés par la domestication ! De même pour les régions du génome commandant le comportement de couvaison et la production d'œufs : les zones affectées ne sont pas du tout les mêmes. L'équipe suédoise espère approfondir cette voie. « *Darwin considérait la domestication comme un modèle d'évolution contrôlée par les humains. En étudiant le mécanisme inverse, nous pouvons en apprendre beaucoup sur l'évolution des espèces* », assure Dominic Wright. ■ **Loïc Chauveau**

Anomalies en série à Fessenheim

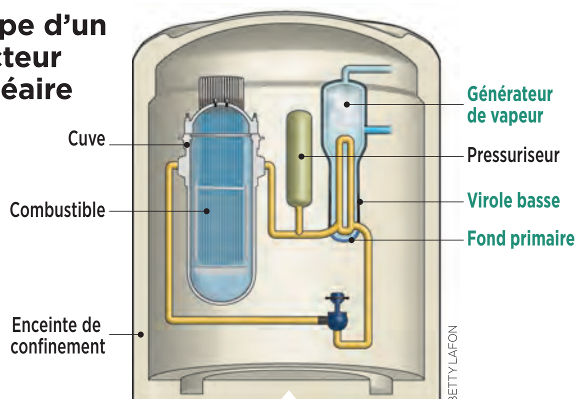
Deux enquêtes ont mis en évidence d'importantes défaillances qui compromettent l'avenir de la centrale.

Quatre-vingt-sept anomalies dans les pièces forgées pour 13 réacteurs nucléaires d'EDF ! C'est ce qu'a révélé l'audit du fabricant Areva demandé par l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) sur l'ensemble des installations françaises, après la découverte d'un problème sur la cuve de l'EPR, en construction à Flamanville (Manche). La plus sérieuse touche la centrale de Fessenheim (Haut-Rhin), ce qui a conduit l'ASN en juillet à lui retirer une attestation de conformité, empêchant le redémarrage du réacteur 2 à l'arrêt depuis juin pour maintenance. La pièce incriminée est la « virole basse » *(voir l'infographie)*, une gaine en acier de 4 m de haut qui enveloppe le bas du générateur de vapeur. Cet acier contiendrait trop de carbone, des impuretés et des éléments chimiques... différents de ceux attendus. Résultat ? « *On ne connaît pas les propriétés mécaniques du matériau avec lequel la virole a été forgée. Il faut notamment tester la résistance à la propagation d'une fissure* », explique Rémy Catteau, directeur des équipements sous pression nucléaires à l'ASN. Le risque est que cet acier résiste moins bien à un stress sismique ou à des chocs thermiques. Dès lors le générateur de vapeur ne refroidirait plus correctement le combustible, au risque de perdre la maîtrise de la réaction nucléaire. Le protocole des tests à mener sur des échantillons d'acier similaire n'est pas encore approuvé. Aussi EDF n'espère-t-il pas redémarrer son réacteur avant fin mars 2017.

Fermeture programmée

Et si les résultats ne sont pas bons, il faudra remplacer tout le générateur. Déboursera-t-on 30 millions d'euros pour une centrale qui pourrait fermer dès 2018 ? Par ailleurs, le réacteur 1 devra être arrêté à son tour : une autre enquête a suggéré le 18 octobre que l'acier du fond primaire, fabriqué au Japon dans les années 1990, contiendrait aussi trop de carbone ■ **Rachel Mulot**
@RachelFleaux

Coupe d'un réacteur nucléaire



La virole basse protège le générateur, participant au refroidissement du combustible.

Du yéti au calmar géant

Le bestiaire énigmatique de la cryptozoologie



Benoît Grison, Delachaux et Niestlé, 400 p., 39 €.

La cryptozoologie sort du ghetto des parasciences : cet ouvrage passionnant suit la piste échevelée d'animaux mythiques en démêlant l'affabulation des faits et rappelle la découverte du cœlacanthe indonésien ou les discussions autour de la persistance de l'homme de Flores. *« Ni chimérique ni fantastique, la crytozoologie est l'étude des animaux dont l'existence n'a pas été irréfutablement prouvée »*, détaille le biologiste Benoît Grison. Ce livre de monstres a une dimension très humaine : il révèle les bidouillages de Pierre Denys-Montfort sur le poulpe colossal, donne raison au zoologiste Tim Flannery sur la disparition de la mégafaune ou nous balade dans les toiles de Gauguin à la recherche du Koau, un oiseau aptère de Polynésie. ■ **R. M.**

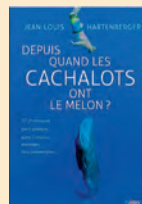
Le Génie de l'arbre



Bruno Sirven, Actes Sud, 424 p, 42 €

Un plaidoyer réussi pour l'agroforesterie à la ville comme à la campagne, nourri de science, d'expériences et de poésie. Hors de la forêt, l'arbre est aussi un précieux allié. *« Il agit sur tout ce qui l'environne sans s'agiter, protège, produit, offre une infinité de choses matérielles et immatérielles indispensables à l'établissement et au développement de la vie dans la plupart des régions du monde »*, raconte le géographe Bruno Sirven. On découvre les pré-bois, les néo-bocages et les arbres à trogne. ■ **R. M.**

Depuis quand les cachalots ont le melon ?



Jean-Louis Hartenberger, Belin, 222 p., 19 €

Les mammifères sont la marotte du paléontologue Jean-Louis Hartenberger depuis cinquante ans. Le curieux titre de ses chroniques fait référence à l'énorme nez du cachalot, bourré d'ambre blanc ou spermaceti, autrefois vendu à prix d'or pour de supposées qualités aphrodisiaques. On découvre aussi que les grands-mères orques ont des leçons à donner ou que le vampire du Cachemire est de retour. ■ **R. M.**

CAHIER
PARTENAIRE



70 ans de recherches

AU SERVICE DE L'AGRICULTURE ET DE LA SOCIÉTÉ

© shutterstock

GUY RIBA
« Un nouveau contrat entre l'agriculture et la société »

Guy Riba est directeur de recherche émérite à l'INRA. Né en 1950, il a dirigé le département de zoologie puis la direction scientifique « Plante et produits du végétal » de l'institut, avant d'être nommé directeur général délégué pour la recherche, puis vice-président non exécutif.


© INRA / MAITRE Christophe

« Nourrir durablement le monde » : tel est, aujourd'hui, l'objectif affiché de l'Institut national de la recherche agronomique. A ses débuts, il y a 70 ans, les ambitions étaient toutefois bien plus focalisées... puisqu'il s'agissait de « nourrir la France » ! Comment l'évolution s'est-elle opérée ?

Guy Riba – C'est une histoire longue – et très riche ! – mais voici, de mon point de vue, les principaux jalons. Tout commence en effet en 1946, au sortir de la guerre. Le pays souffre alors d'une grave pénurie alimentaire. Il faut non seulement remplir les assiettes, mais développer aussi une alimentation plus diverse et de meilleure qualité. Une aide scientifique et technique doit être apportée aux paysans. Mais ce soutien ne peut venir des universités, comme dans la plupart des autres pays occidentaux, car pour des raisons historiques, nos universités ne se sont jamais vraiment intéressées aux sciences agronomiques ! C'est pour cette raison que l'Inra est fondé sous la tutelle du ministère de l'Agriculture et acquiert un monopole. L'institut peut certes s'appuyer sur plusieurs stations et laboratoires expérimentaux du ministère, mais il doit créer, de toutes pièces, des communautés de chercheurs dans toutes les disciplines : génétique végétale, génétique animale, sciences vétérinaires, sciences du sol, etc. L'INRA se structure ainsi en grands départements de recherche, ce qui est toujours le cas aujourd'hui.

Quels liens unissent alors les chercheurs de l'Inra aux agriculteurs ?

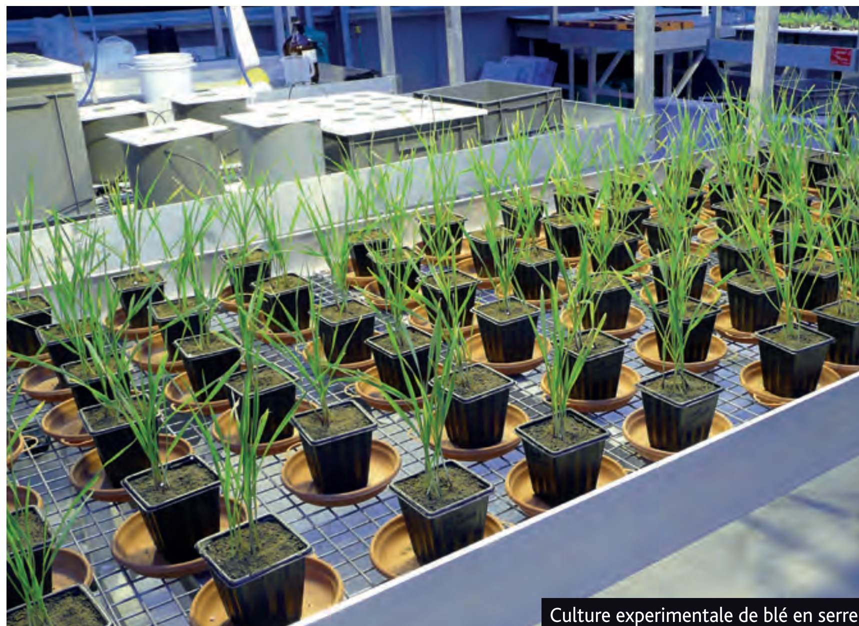
G. R. – L'Inra s'implante dans toutes les régions

1950 *Lancement du blé « Etoile de Choisy », qui allie une forte productivité, une très grande précocité, une résistance au froid ainsi qu'à plusieurs parasites comme la rouille noire.*

1955 *Trois variétés de « maïs hybrides précoces » permettent d'adapter la culture de cette plante tropicale aux printemps froids, dans les régions situées au nord de la Loire en particulier. Les rendements augmentent alors de 20%.*

1960 *Première multiplication végétative in vitro d'orchidées à partir de groupes de cellules indifférenciées. Par cette technique, on produit de nombreuses plantes ornementales, fruitières ou maraîchères, sans les exposer aux virus.*

1969 *L'ultrafiltration du lait, réalisée avec des membranes très fines qui éliminent des protéines solubles et les sels minéraux, permet de fabriquer de nouveaux fromages tel le Pavé d'Affinois.*


Culture experimentale de blé en serre

© INRA / SEGURA Raphaël

CHIFFRES CLÉS

881 millions d'euros de budget
8165 agents titulaires
250 unités de recherche
4081 publications scientifiques en 2015
354 brevets

agricoles. Avec la création des départements, c'est le deuxième grand principe sur lequel l'institut est mis sur pied. Jusqu'au milieu des années 1970, tous les jeunes chercheurs sont formés, pendant deux ans, dans la « station centrale » de Versailles pour tout ce qui concerne les sciences végétales, ou celle de Jouy-en-Josas, dans les Yvelines, pour les sciences animales... Puis ils sont envoyés dans la « pampa » ! Loin des grandes villes et au plus près des agriculteurs, comme dans le village de Lusignan, dans la Vienne, ou celui de Nouzilly, en Indre-et-Loire, afin de les aider à moderniser des pratiques.

Quelles sont les grandes priorités ?

G. R. – Créer de nouvelles variétés. En s'appuyant sur les progrès de la génétique et de l'agronomie, il s'agit d'accroître autant que possible la production et la productivité. Issu des premiers travaux de sélections végétales de l'Inra, le blé « Etoile de Choisy », qui résiste très bien au froid et aux maladies, joue par exemple un rôle clé dans le renouveau agricole du Sud-Ouest. Il sera également cultivé dans la moitié des champs de blé français, ainsi qu'en Hongrie, en Ukraine, etc. Côté animal, il faut souligner l'immense succès de la « loi élevage », votée en 1966 sous l'impulsion de Jacques Poly, généticien de l'Inra et conseiller d'Edgard Faure, ministre de l'Agriculture de l'époque. Elle instaure une collaboration très étroite entre les services de l'Etat et les entreprises agricoles afin de promouvoir la sélection animale et l'amélioration génétique du cheptel. L'efficacité du système repose sur la forte implication des éleveurs. Ils font remonter à l'Inra une multitude de données sur les caractères génétiques des bovins, le choix des géniteurs ou l'insémination artificielle. C'est grâce à ce travail de phénotypage extrêmement fiable et précis que les chercheurs de l'Inra pourront aborder au mieux, par la suite, le virage des sciences génomiques et des biotechnologies. Elles se révèleront très utiles pour améliorer les capacités des vaches laitières en termes de volume de lait, de taux de matières grasses ou de résistance aux maladies. Tandis que l'autosuffisance alimentaire est atteinte et que les productions agricoles deviennent même excédentaires, l'Inra œuvre par ailleurs de plus en plus à la valorisation et à la transformation de ces productions, pour l'industrie fromagère notamment.

Existe-t-il des lacunes ?

G. R. – Oui. Au début des années 1980, alors que Jacques Poly est nommé PDG de l'Inra, le biophysicien Guy Paillotin, qui après une brillante carrière au Commissariat à l'énergie atomique travaille pour le ministère de la Recherche, alerte ce dernier : l'Inra est en train de devenir un « super-institut technique » s'éloignant de plus en plus des grandes dynamiques de la recherche fondamentale internationale. En clair : l'Inra n'a plus les capacités de préparer l'avenir de l'agriculture française... qui va droit dans le mur ! Jacques Poly prend alors une série de mesures. Profitant des vagues de réformes accompagnant l'arrivée de la gauche au pouvoir, il place l'Inra sous »

1974 *Mise au point de la cuisson-extrusion, procédé de transformation des aliments (céréales pour le petit-déjeuner, snacks apéritifs, confiseries...) sous l'action de pressions et de forces de cisaillement élevées.*

1976 *La fraise « Gariguette » est produite par croisement entre plusieurs variétés. Fine, allongée et très savoureuse, elle résiste aux maladies causées par les champignons et se récolte dès le mois de mars. C'est, aujourd'hui, la fraise la plus vendue en France.*

1988 *Un blé qui cuit en 10 minutes au lieu d'une heure trente habituellement, riche en protéines végétales, en glucides et en fibres alimentaires, qui résiste à la sur-cuisson et à la congélation... Dès sa commercialisation, le blé « Elby » connaît un succès immédiat !*

1993 *La carpovirusine permet de détruire les larves d'un papillon appelé carpocapse des pommes et des poires, principal ravageur des vergers. Cet insecticide biologique, de type viral, est utilisé aujourd'hui par tous les pomiculteurs bio.*


Culture in-vitro de riz

la double tutelle des ministères de l'Agriculture et de la Recherche. Le directeur général adjoint administratif et financier Paul Vialle joue aussi un rôle clé, en créant notamment le projet « Jouy 2000 », dédié à la biologie moléculaire et aux biotechnologies. De son coté, Guy Paillotin, qui rejoint l'Inra en 1984, impose une règle simple : désormais, pour candidater au poste de directeur de recherche, il faudra avoir publié au moins deux articles dans une revue internationale à « comité de lecture ».

Pour quels résultats ?

G. R. – Ces réformes font merveille. Elles fonctionnement si bien qu'à la fin des années 1980, l'Inra devient le premier organisme de recherche agronomique d'Europe, et le deuxième dans le monde – derrière le département américain de l'Agriculture – en termes de publications et d'articles référencés ! Mais alors que l'institut se hisse au plus haut niveau de la recherche internationale, il se coupe peu à peu du monde paysan… Les critiques des agriculteurs se font ainsi de plus en plus vives : l'Inra ne se préoccupe plus, ou pas assez, de leurs besoins, pour créer de nouvelles variétés ou lutter contre les ravageurs des plantes, par exemple.

Comment l'Inra a-t-il réagi ?

G. R. – Le rapprochement s'amorce au début des années 1990. On trouve alors, à l'Inra, une sorte de « patchwork », avec d'excellents chercheurs en sciences fondamentales et d'autres qui se consacrent à nouveau pleinement aux questions des agriculteurs… Mais c'est en 1999 que l'Inra s'inscrit véritablement à nouveau dans une nouvelle dynamique, grâce à Paul Vialle qui est nommé à la direction générale de l'institut. Il va, non seulement réformer en profondeur ses structures de management, mais nouer aussi des relations solides et durables avec les industriels et les agriculteurs. Il est, par exemple, l'un des principaux artisans du programme « Génoplante », qui associe plusieurs organismes publics aux grands semenciers tels que Biogemma (Limagrain), Florimont-Deprez et RAGT, ainsi qu'à des coopératives agricoles et agroalimentaires comme Euralis.

Quel est l'objectif de Génoplante ?

G. R. – La finalité de ce programme bénéficiant d'un budget de 200 millions d'euros est d'identifier les gènes impliqués dans le développement de nombreuses plantes (blé, colza, maïs, pois, tournesol, riz…) afin d'améliorer

1998 *Naissance de « Marguerite », première vache clonée. Ces recherches permettent d'étudier les aspects les plus fondamentaux de l'embryogénèse et de développer des techniques de transfert et de congélation d'embryons de mammifères.*

2003 *Il aura fallu 24 ans de travail et quantités de croisements pour créer la pomme « Ariane ». A la fois acide et sucrée, juteuse et croquante, elle sera élue trois fois (entre 2013 et 2015) « produit de l'année ».*

leurs qualités agronomiques, techniques, environnementales et nutritionnelles. Pas moins de 350 articles scientifiques seront publiés… conduisant à une quarantaine de brevets ! Génoplante ne restera pas un cas isolé. Ce type de programme sera étendu aux secteurs de l'élevage et de l'alimentation, ce qui permettra de mener de grandes recherches en travaillant de concert avec les industriels et les leaders du monde paysan. L'Inra décide, par ailleurs, au cours des années 2000, d'approfondir ses relations avec le monde associatif. Cette démarche avait été initiée quelques années auparavant par Guy Paillotin suite à la crise de la vache folle, aux polémiques sur les plantes transgéniques et à la montée en puissance des problématiques environnementales. Il nous a bien fait comprendre que les agriculteurs n'étaient plus les seuls « clients » de l'INRA ! L'institut devait intégrer le consommateur-citoyen au centre de ses préoccupations, car un nouveau contrat entre l'agriculture et la société était en train de se profiler. Les études prospectives lancées par l'INRA vont se révéler particulièrement utiles pour engager des discussions avec les associations de consommateurs ou les militants écologiques. Menées dans de nombreux domaines – des nouvelles ruralités aux biocarburants en passant par l'évolution des comportements alimentaires –, elles permettent d'analyser les contextes et enjeux de société, de se projeter dans le futur, et d'aider à définir, in fine, de façon concertée, les grandes orientations de recherche.

L'Inra étend donc considérablement ses champs d'action !

G. R. – Au début des années 2010, l'Inra apparaît en effet comme un organisme à « plusieurs pieds ». Ses structures intégrant une multiplicité d'acteurs et menant des recherches à la fois fondamentales et finalisées devraient permettre, à l'avenir, d'éviter une gestion « pendulaire » de l'institut, et ne plus retomber dans les erreurs du passé. Mais le point sur lequel il faut rester vigilant est, du coup, la transversalité ! C'est pour favoriser les approches transdisciplinaires que l'Inra a lancé, depuis 2011, huit « méta-programmes ». L'un des premiers concerne l'adaptation de l'agriculture et des forêts au changement climatique ; et le plus récent, initié en 2014, étudie les transitions pour la sécurité alimentaire mondiale. Il mobilise les forces pluridisciplinaires (agronomie, nutrition, climatologie, économie, sciences politiques…) de l'Inra et du Cirad, mais aussi le Cnrs, l'Institut Pasteur, l'Institut de recherche pour le développement, et de nombreuses universités. Des partenaires internationaux participent à cet effort global, comme la Fao, l'Institut des ressources mondiales et l'Entreprise brésilienne de recherche agricole (Embrapa). Au total, 70 unités de recherche sont représentées ! Les résultats seront connus dès 2017. C'est sur ce modèle que les sciences agronomiques doivent désormais se structurer. Ainsi, avec son organisation unique au monde, l'Inra peut et doit contribuer efficacement à ces objectifs mondiaux tout en renforçant son positionnement institutionnel à l'international. Car il faut bien comprendre qu'aucun organisme ni Etat ne possède, seul, les moyens et solutions face aux changements globaux qui s'annoncent ou se produisent déjà, sur le plan de la démographie, de l'alimentation, de l'énergie, et bien sûr du climat.


Installation expérimentale de production laitière de l'Unité Mixte de Recherche Pegase

2007 *Le génome de Vitis vinifera, principale espèce de vignes cultivée en Europe, est décrypté par une collaboration internationale impliquant l'Inra.*

2009 *Le projet « Futurol » est lancé. L'objectif est de mettre au point, d'ici 2017, un procédé de fabrication d'éthanol par voie biologique de 2e génération, pour servir de carburant ou pour l'industrie chimique.*

2013 *Disponible sur smartphone et tablettes, l'application Di@gnoPLant permet aux agriculteurs et aux particuliers d'identifier les maladies des salades, de la tomate, de la vigne ou du tabac.*

2015 *Unique en Europe, le centre de recherche « Herbipole », dans le Puy-de-Dôme, rassemble 1 600 bovins et ovins sur 1 100 hectares de prairies. L'objectif est de mesurer les contributions de l'élevage aux gaz à effet de serre et d'étudier la capacité des prairies à stocker les émissions de carbone.* •••

Une science POUR L'IMPACT


© shutterstock

« *La recherche agronomique au sens large n'était plus prioritaire ni pour les professionnels ni pour les citoyens européens à la fin du XXe siècle. Elle est désormais interpellée pour accompagner l'agriculture dans ses mutations et contribuer à une sécurité alimentaire et nutritionnelle durable* », relève le document d'orientation stratégique de l'Inra. L'agriculture du XXIe siècle doit faire face, il est vrai, à de multiples défis ! Alors que l'humanité comptera plus de 9 milliards d'individus en 2050 et que la demande en protéines animales et végétales ne cesse d'augmenter, l'agriculture doit produire une alimentation saine et diversifiée tout en réduisant son empreinte environnementale et trouver des voies d'adaptation au changement climatique. Elle participe aussi activement à la transition énergétique, en fournissant, à partir de la biomasse, les matières premières nécessaires à la fabrication de biocarburants ou de matériaux « *bio-sourcés* ».
A travers cinq exemples donnant la part belle aux approches transdisciplinaires, internationales et participatives – du traitement de la maladie de Lyme à l'adaptation de la viticulture au changement climatique, en passant par l'essor des agromatériaux, la création de produits alimentaires très riches en protéines végétales et l'utilisation de nouvelles technologies (drones, robots, données massives et objets connectés…) pour une agriculture de haute précision – voici comment la recherche agronomique française éclaire le débat public et développe des réponses à la fois durables et innovantes aux enjeux globaux.

SANTÉ

Comment diagnostiquer plus efficacement LA MALADIE DE LYME

Grâce à des découvertes scientifiques récentes et le développement de nouvelles méthodes de dépistage, les maladies transmises par les tiques seront bientôt mieux traitées et appréhendées.

Elizabeth F. se plaint depuis deux semaines de symptômes grippaux et s'inquiète de cette tâche rouge circulaire – apparue après un pique-nique dans le parc en juillet – qui grossit sur sa cheville. D'où cela vient-il ? Que lui arrive-t-il ?

La maladie de Lyme s'est invitée l'été dernier dans le débat public. En juillet, 100 médecins ont lancé un appel d'urgence au ministère de la Santé, demandant une réelle prise en charge de cette infection causée par la bactérie Borrelia, transmise elle-même par les tiques. Elle peut provoquer des douleurs articulaires permanentes, une fatigue chronique, ainsi que des affections cutanées, cardiaques ou neurologiques. Ces médecins réclamaient aussi un meilleur dépistage. Selon le Centre national de référence des Borrelia, 27 000 nouveaux cas sont enregistrés chaque année ; mais le Haut Conseil de la santé publique et la plupart des experts s'accordent à dire que les tests ne sont pas assez fiables ! Mi-septembre, l'Académie de médecine invitait pour sa part à la prudence, pointant le risque de sur-diagnostic. Un message très mal reçu par les associations de malades, convaincues, au contraire, que le nombre de personnes infectées reste largement sous-estimé !

Les actions menées par ces associations et les lanceurs d'alerte ont portés leurs fruits. Le 29 septembre, le gouvernement a décidé que les malades et les médecins participeront, ensemble, à l'élaboration d'un nouveau protocole de diagnostic et de soins, qui sera validé par la Haute autorité de santé et l'Assurance maladie. « *Ce plan est assurément une bonne chose,* se félicite Muriel Vayssier-Taussat, microbiologiste à l'Inra. *Il a décrispé la situation et améliorera le dépistage comme l'efficacité des traitements.* »

Mais pourquoi la maladie de Lyme est-elle si difficile à diagnostiquer ? Parce qu'on ne rend pas toujours compte, tout d'abord, qu'on a été piqué ! Les morsures sont en effet indolores, et les tiques s'accrochent dans des endroits discrets. De plus, les symptômes ne se manifestent qu'au bout de quelques semaines, voire plusieurs mois. Quant au manque de fiabilité des tests actuels, la raison est due aux très faibles quantités d'anticorps induits par la présence de la Borrelia dans le sang.

En mars 2016, des chercheurs de l'Inra ont fait aussi une découverte importante. Ils ont constaté, dans le cadre d'une étude visant à mieux comprendre les effets du changement climatique sur la répartition des tiques dans les forêts, que celles-ci transportaient non seulement la Borrelia mais aussi une quarantaine d'agents pathogènes ! « *Une tique peut contenir et donc transmettre jusqu'à cinq microbes à la fois,* précise Muriel Vayssier-Taussat. *D'où un risque élevé de co-infections brouillant les diagnostics cliniques et les tests sanguins. Ces co-infections expliqueraient aussi les syndromes atypiques chez de nombreux patients.* »

En collaboration avec l'AP-HP et l'Institut Pasteur, l'Inra développe des outils de dépistages pour l'ensemble de ces microbes. Il coordonne, par ailleurs, un projet de sciences participatives baptisé « Citicks ». « *L'objectif est de sensibiliser les citoyens aux maladies transmises par les tiques et de diffuser des méthodes de prévention auprès des médecins et des populations à risque, comme les forestiers et les randonneurs* », explique Muriel Vayssier-Taussat. Un application smartphone permettra de faire remonter des données sur la présence des tiques, et d'expliquer les procédures à suivre en cas de piqûre. ■


© shutterstock

CHANGEMENT CLIMATIQUE

Quels millésimes EN 2050 ?

La viticulture est particulièrement sensible au changement climatique. De nombreuses solutions existent pour s'adapter, mais les acteurs de la filière doivent apprendre à raisonner différemment.

En 2013, des climatologues californiens jetaient une terrible inquiétude sur l'avenir de nos vignobles. Selon leurs calculs, les terres favorables à la culture de la vigne au sud de l'Europe se réduiront de 68 % en 2050 en raison du réchauffement. Exit les vins de Bordeaux ou de la vallée du Rhône, ainsi que la plupart des domaines d'Espagne ou d'Italie ! L'Angleterre et la Norvège deviendraient propices à la viticulture, tout comme les montagnes Rocheuses aux Etats-Unis… Quand on sait que le secteur de la vigne et du vin, en France, génère chaque année plus de 10 milliards d'euros et que près de 500 000 emplois en dépendent (sans parler du tourisme œnologique ou de la place du vin dans la société), un tel scénario prend des allures de catastrophe nationale !
« *Les conclusions de ces chercheurs sont en partie fausses. Si on suit leur modèle, on ne pourrait déjà plus produire de Syrah en Côtes-du-Rhône, ce qui n'est pas le cas ! Ils ont, en réalité, mal évalué les températures maximales tolérées par les cépages et, surtout, pas pris en compte les stratégies d'adaptation des viticulteurs, déjà à l'œuvre ou à venir* », rassure Jean-Marc Touzard, directeur de recherche à l'INRA et l'un des deux coordinateurs, avec Nathalie Ollat du projet « Laccave » qui a exploré les effets du changement climatique sur la vigne et le vin à l'horizon 2050.
Il a mobilisé pendant quatre ans une centaine de scientifiques de l'INRA, issus de nombreuses disciplines (agronomie, climatologie, économie, œnologies, etc.), et rendu ses conclusions en avril 2016.
« *Je travaille à l'INRA depuis une vingtaine d'années, et le projet Laccave est, sans nul doute, le plus important auquel j'ai participé – en termes d'implication de chercheurs, de résultats scientifiques et d'impact sur la société. Nathalie Ollat et moi sommes sollicités quasiment tous les jours par les professionnels du secteur ou par les médias ! Le changement climatique reste, pour beaucoup de gens, très abstrait, mais les conséquences qu'il produit déjà et pourrait entraîner sur les rendements et la qualité du vin, permettent de prendre conscience des enjeux globaux et de leur gravité.* »
Les résultats soulignent toute l'importance de maintenir le réchauffement en deçà de 2°C, en accord avec la COP21. « *Des solutions existent alors pour la plupart des vignobles français. Au-delà, les choses s'emballent : nous perdons de nombreuses marges de manœuvre et la carte des vins risque en effet d'exploser* », note Jean-Marc Touzard.
Il existe de nombreux leviers pour adapter la fabrication du vin et rendre les vignes plus résilientes : cépages plus précoces, qui produisent moins de sucre, résistent mieux à la sécheresse et aux maladies, meilleure gestion des sols pour limiter les besoins en eau, contrôle du froid à la réception des vendanges, techniques œnologiques pour réduire l'alcool ou maintenir une bonne acidité, etc. « *Il faut trouver à chaque fois les bons compromis : il n'y a pas de solution miracle et l'échelle locale est prépondérante,* insiste Jean-Marc Touzard. *Tous les acteurs doivent apprendre à raisonner en termes d'adaptation et construire des réseaux d'échange de connaissances, incluant les scientifiques, car beaucoup d'incertitudes demeurent.* »

Gaël C, vigneron du Gers, anticipe les changements climatiques et travaille de nouveaux cépages cultivés sous des climats plus chauds que sa région : Verdeiho (Portugal), Verdero (Espagne). Il a réussi à maintenir le style des vins, l'améliorer et à optimiser le rendement sans réduire la qualité.


© shutterstock

BIOECONOMIE

Le lin, nouvel or vert DE LA FRANCE

Les fibres de synthèse, en verre ou en carbone, cèdent de plus en plus la place aux fibres naturelles contenues notamment dans le lin.

On s'en sert, désormais, pour fabriquer des cadres de vélos, des panneaux pour les portes de voiture ou des structures isolantes dans le bâtiment. Même si le lin est l'une des plus anciennes fibres textiles au monde, les applications sont de plus en plus nombreuses et techniques, pour développer des matériaux composites notamment. Les fabricants d'articles de sport ont ouvert la voie il y a une petite dizaine d'années. L'équipementier français Artengo commercialise alors la première raquette de tennis contenant des fibres de lin. Celles-ci ne représentent que 15% de la masse totale, mais leurs propriétés structurales diminuent de 25% les vibrations par rapport à leur équivalent en fibres de verre ou de carbone. Tout aussi résistantes au niveau mécanique, ces raquettes sont aussi plus légères, car moins denses. Et elles permettent, on l'aura compris, de réduire l'utilisation des dérivés du pétrole ou des ressources non renouvelables.
Aujourd'hui, dans les magasins de sport, on trouve toute une gamme de produits contenant du lin : planches de surf, skis, casques, arcs, kayaks, etc. « *Et ce n'est qu'un début,* assure Johnny Beaugrand, de l'unité Fractionnement des AgroRessources et Environnement de l'Inra, basée à Reims. *Les agro-matériaux vont continuer à prendre des parts de marché en raison de leur légèreté, de leur résistance aux chocs, de leurs capacités à absorber les vibrations et à laisser passer les ondes électromagnétiques, de tous les gains environnementaux qu'ils apportent… et d'une maturité industrielle aujourd'hui démontrée.* »
Une aubaine pour la France… qui est le premier producteur de lin au monde ! De la Normandie à la Flandre, les conditions climatiques cumulées aux propriétés spécifiques des sols sont particulièrement propices à la culture de cette plante qui n'a pas besoin d'être irriguée et requiert très peu d'intrants. Elles permettent d'obtenir des fibres de très grande qualité suite au rouissage, procédé enzymatique naturel conduisant au ramollissement de la tige et à la séparation des fibres longues, qui servent de structures de renfort dans les matériaux composites.
Les industriels intéressés par ces matériaux « biosourcés » sollicitent l'Inra pour deux raisons. La connaissance des plantes et des pratiques culturales, tout d'abord : « *Nous contribuons à modéliser et prédire de façon très précise les rendements et la qualité des fibres selon les conditions météorologiques et les zones agricoles, ce qui permet d'orienter les productions des différentes variétés de plantes à fibres comme le lin ou le chanvre vers tel ou tel secteur d'applications* », explique Johnny Beaugrand. Le deuxième apport concerne le génie des procédés. L'Inra possède en effet une très riche expérience dans la transformation des produits agricoles, par les techniques d'extrusion notamment. « *L'institut innove et s'inspire de ces procédés pour les optimiser à la fabrication de matériaux à base de lin, précise le biochimiste. Nous déterminons les quantités, températures ou pressions optimales pour mélanger certains plastiques, qui servent de matrice, aux fibres naturelles, et réduire autant que possible la formation de défauts – des bulles de gaz, par exemple – qui diminuent les performances.* » Les débouchés concernent les industries automobile, ferroviaire, navale et aéronautique en particulier.

Le lin participe à l'essor d'une jeune société nantaise Egide, conceptrice de casques de vélo de ville. Elégant, il est léger, confortable. Résistant, il garantit une protection sûre. Dans la mythologie grecque, l'égide est un bouclier magique, porté par les dieux. Il fallait penser à l'adapter, c'est chose faite !


© shutterstock

ALIMENTATION

Des pâtes aux légumineuses BIENTÔT DANS NOS ASSIETTES !

Du fait de leurs vertus nutritionnelles et environnementales, les légumineuses pourraient connaître un retour en grâce... notamment sous la forme de pâtes alimentaires.

Pâtes aux légumineuses et musculation font bon ménage ! Régis S est adepte de la salle de musculation qu'il fréquente trois fois par semaine. Il associe les pâtes aux légumineuses à du poisson gras et à une portion de légumes pour obtenir un repas complet tourné vers sa croissance musculaire.

Nous consommons cinq fois moins de légumineuses – lentilles, haricots, pois-chiches, fèves... – qu'au début du siècle dernier. Elles souffrent d'une mauvaise image, celle d'un aliment lourd et suranné : « *Difficiles à cuire et à préparer, elles sont perçues par la population française comme la viande du pauvre et comme pouvant provoquer des désordres gastriques et intestinaux* », reconnaît Stéphane Walrand, nutritionniste et directeur de recherche à l'Inra. Les légumes secs possèdent pourtant de formidables qualités ! Leurs graines contiennent de nombreux minéraux (magnésium, fer, etc.), des vitamines (B1, B9...) et des antioxydants naturels comme les polyphénols. Elles sont pauvres en matières grasses et renferment des sucres lents. Très riches en fibres, elles permettent de se sentir vite rassasié. Surtout, elles contiennent de grandes quantités de protéines, et donc d'acides aminés dont certains sont indispensables à notre métabolisme qui ne peut les fabriquer.

Ce n'est pas tout. Car les légumineuses ont la capacité de fixer l'azote atmosphérique dans les sols. Ce dernier joue alors un rôle d'engrais naturel, non seulement pour la culture des légumineuses, qui nécessite très peu d'intrants, mais aussi pour d'autres plantes – céréalières, par exemple – cultivées dans ces sols. Une propriété particulièrement intéressante pour diminuer les gaz à effet de serre, puisque la moitié des émissions liées à l'agriculture provient des engrais chimiques azotés. « *Les légumineuses possèdent ainsi le double avantage de pouvoir contribuer à réduire les effets sur le changement climatique tout en répondant à nos besoins alimentaires,* relève Stéphane Walrand. *Elles apparaissent comme un complément aux protéines animales, dans un contexte de forte poussée démographique et d'une augmentation de la demande en protéines alimentaires.* »

Pour leur donner un coup de pouce, l'ONU a proclamé 2016 « année internationale des légumineuses » ! De son coté, l'Inra développe des produits visant à les intégrer davantage dans notre alimentation. C'est ainsi qu'est né, il y a sept ans, le projet « Pastaleg » coordonnée par Valérie Micard. La première étape a consisté à fabriquer des pâtes contenant des quantités variables de légumineuses. « *Les pâtes constituent un très bon vecteur alimentaire, car elles sont consommées partout dans le monde, ne coûtent pas chers et sont simples d'utilisation* », explique Stéphane Walrand. Les spaghettis aux légumineuses de l'Inra fournissent ainsi deux fois plus de protéines que les pâtes classiques ! Elles contiennent aussi des céréales, ce qui permet d'équilibrer les apports en acides aminés dont nous avons besoin. Les études cliniques débuteront bientôt pour évaluer leurs qualités nutritionnelles et leur bonne assimilation. « *Nous travaillons aussi sur leurs propriétés organoleptiques, car pour qu'un aliment soit acheté, il faut avant tout qu'il soit bon et bien accepté par les populations,* ajoute le nutritionniste. *Sans être trop optimiste, je pense qu'on les trouvera dans nos supermarchés d'ici 4 à 5 ans.* »

mixte blé/fèverole
100% lentille
100% haricot hurd
100% fèverole

L'agriculture de précision AU SERVICE DE L'AGROÉCOLOGIE

L'utilisation coordonnée des nouvelles technologies (capteurs, drones, robots, agriculture connectée, etc.) permet de mieux accompagner les agriculteurs dans le pilotage de leurs exploitations mais aussi de répondre aux défis posés par les changements climatiques, la détérioration de l'environnement et l'épuisement des ressources naturelles.

L'agriculture de précision est née dans les années 70 aux Etats-Unis sous l'impulsion d'un groupe de chercheurs qui avaient pris conscience de l'hétérogénéité des parcelles. L'idée était d'optimiser, d'un point de vue strictement économique, l'exploitation et les rendements, en apportant la bonne dose d'engrais ou d'herbicides. L'environnement n'était pas la principale préoccupation.

« *L'Europe s'est ensuite appropriée ce concept et a mis l'accent sur l'aspect environnemental. En réduisant l'utilisation des intrants, l'agriculture de précision est apparue comme un excellent outil en vue de diminuer les nuisances environnementales, préserver l'utilisation des ressources naturelles et améliorer la qualité de la production* » affirme Christelle Gée, professeur à AgroSup Dijon et responsable de l'équipe agriculture de précision au sein de l'UMR Agroécologie, une entité pilotée par l'Inra et qui rassemble également l'Université de Bourgogne et Agrosup Dijon.

Les nouvelles technologies ont permis le développement de l'agriculture de précision. La machine, dotée de capteurs électroniques et de systèmes automatisés, est devenue « intelligente ». La géo-localisation par satellite est au cœur du dispositif : elle permet l'acquisition de données spatialisées qui sont ensuite analysées pour faciliter l'application de la bonne dose de produit, au bon endroit et au bon moment. Les progrès des équipements ont apporté un réel confort à l'agriculteur et ont permis des avancées notables, comme par exemple l'assistance d'un GPS pour la gestion de la coupure automatisée des tronçons de la rampe d'un pulvérisateur pouvant atteindre 42 mètres de long. Les recherches menées, notamment à l'Inra, ont permis de développer une technologie reposant sur l'imagerie pour gérer l'ouverture/fermeture d'une buse d'un pulvérisateur. Autre exemple : la modélisation des nappes d'engrais solides. Les chercheurs de l'UMR Agroécologie travaillent sur le suivi de la nappe d'engrais en sortie d'épandeur centrifuge. Ceci permettra d'ajuster en temps réel la dose d'engrais nécessaire.

Plusieurs facteurs incitent à une utilisation croissante de l'agriculture de précision. Tout d'abord, les réglementations environnementales sont de plus en plus exigeantes sur les engrais et les produits phytopharmaceutiques : le Grenelle de l'Environnement via le Plan Ecophyto 2 prévoit de réduire de 25% d'ici 2020 le recours aux produits phytosanitaires. Ensuite, la diminution croissante du nombre d'agriculteurs incite à développer en permanence des outils toujours plus performants apportant confort et des débits de chantier élevés. Dans ce contexte difficile, le numérique ouvre une nouvelle ère pour l'agriculture. Grâce à Internet, la machine va pouvoir communiquer et obtenir en retour une information supplémentaire, par exemple sous la forme de conseils ou de recommandations : c'est une communication dans les deux sens.

> Naio Technologie, start-up toulousaine développe « Oz » un robot électrique, de petite taille, capable d'évoluer dans les rangées agricoles. Autonome, il automatise le désherbage mécanique pour les exploitations maraîchères en respectant l'environnement et sans produit chimique.

« *On peut concevoir une parcelle équipée de nombreux capteurs pour étudier la composition du sol, l'humidité de l'air ou la météo. Ceux-ci sont tous connectés à une plateforme de stockage (un cloud). La machine, elle aussi, est connectée à cette plateforme, récupère ces données, en plus de celles issues des capteurs embarqués, pour prendre des décisions et agir au mieux : la machine connectée voit son intelligence entretenue* » précise Christelle Gée.

A cela s'ajoute l'impact du phénomène du big data qui se caractérise par le très grand volume des données générées et la puissance des traitements d'analyse de »


© shutterstock

celles-ci. Par exemple, pour faire de la sélection variétale, le phénotypage haut débit consiste à collecter en continu des données pour observer l'aptitude d'une plante à s'adapter à diverses situations (température, sol, humidité, azote). Egalement, la collecte de nombreuses données agronomiques sur les végétaux permet de développer des modèles agronomiques qui serviront d'outils d'aide à la décision à l'agriculteur. « *L'agriculture numérique élargit les possibilités d'intervention de l'agriculture de précision traditionnelle. Elle apporte une nouvelle dimension essentielle, celle qui résulte de la conjonction de la communication entre les équipements et de l'augmentation du nombre de données utilisées* » souligne Christelle Gée.

Les fabricants d'équipements commencent déjà à proposer des solutions de ce type mais le champ de la recherche est considérable. La révolution numérique ouvre de nouvelles perspectives en matière de recherche, dans les domaines les plus variés. On peut imaginer, par exemple, une machine qui assurerait une récolte simultanée en cas de cultures associées ou le développement des cultures dans les bandes tampons à proximité des rivières, sans utiliser les engrais et les produits phytopharmaceutiques actuellement interdits. Les enjeux sont donc considérables. Le succès de la recherche dans ces nouveaux domaines reposera, principalement, sur la capacité à agréger les compétences et les métiers : agronomes, spécialistes des équipements, experts du sol, biologistes, généticiens, informaticiens, physiciens, etc. « *Plus que jamais, les innovations techniques dans les agroéquipements et le numérique sont des outils essentiels pour accompagner l'agriculteur dans une démarche agroécologique* » conclut Christelle Gée.

L'ARTICULATION DRONE-ROBOT, UN APPUI PRÉCIEUX POUR L'AGRICULTEUR

L'équipe d'agriculture de précision de l'UMR Agroécologie a commencé à travailler sur un projet novateur de détection des adventices (mauvaises herbes), par le biais d'une collaboration originale entre un véhicule aérien et un véhicule terrestre.
Grâce au survol par un drone de parcelles cultivées, l'idée est de réaliser des cartes d'infestation. Un robot au sol prend ensuite le relais : il se déplace sur les zones signalées et identifie les espèces végétales. L'information obtenue est redirigée vers un pulvérisateur qui traite les zones concernées.
Les avantages de cette collaboration air-sol devraient être multiples. Le drone apporte une première analyse de la parcelle par un découpage en zones. La localisation des patchs d'adventices est précise mais le dispositif peut s'appliquer à d'autres types de zones à risque : attaques de parasites, présence de ravageurs, maladies, etc.
Enfin, l'agriculteur pourra appliquer l'herbicide le mieux adapté, à l'endroit précis, et maîtriser le dosage. « On va vraiment pouvoir ajuster au pied de plante le dosage des produits chimiques nécessaires. L'impact environnemental en sera réduit d'autant. C'est tout l'intérêt de ce couplage original air-sol » explique Christelle Gée, professeur à AgroSup Dijon et responsable de l'équipe agriculture de précision de l'UMR Agroécologie.

Répondre aux défis des AGRICULTURES DU FUTUR

Les agricultures du futur doivent permettre de nourrir les habitants de la planète de manière saine et équilibrée, tout en préservant les ressources naturelles. Leader de la recherche agronomique en Europe (et deuxième mondial), l'Inra a orienté sa stratégie et son dispositif de recherche en vue de fournir les réponses adaptées aux défis des agricultures de demain.



© shutterstock

En 2050, la planète comptera 9 milliards d'habitant contre un peu plus de 7,3 milliards en 2014. L'agriculture mondiale devra être en mesure de produire les aliments nécessaires pour nourrir cette population, dont les deux-tiers résideront dans des villes. Mais il faudra aussi que cette alimentation soit saine et diversifiée (végétaux, protéines, etc.). Par ailleurs, l'agriculture de demain devra gérer les ressources naturelles indispensables à la vie (l'eau, les sols, l'air, la biodiversité, etc.) et contribuer à la lutte contre le changement climatique.

Autant de sujets qui sont loin d'avoir été réglés à ce jour et qui représentent des défis majeurs pour la recherche agronomique. Premier institut de recherche européen (et deuxième mondial), l'Inra est pleinement engagé dans l'élaboration des réponses à ces défis. Fort des compétences de ses équipes et d'un dispositif de terrain performant, l'Institut a défini une véritable stratégie tant en termes de choix scientifiques que d'organisation.

L'impact du big data

L'Inra a retenu cinq domaines thématiques prioritaires. La première priorité concerne l'ambition globale d'atteindre la sécurité »


© shutterstock

alimentaire dans un contexte dans un contexte de transitions et de changements planétaires.

La deuxième priorité est la promotion de la diversité des agricultures françaises, enrichies des approches de l'agroécologie et de l'agriculture numérique. L'importance accordée à l'agro-écologie, c'est à dire à une agriculture qui incorpore une démarche de protection de l'environnement et de préservation des ressources naturelles, n'est pas nouvelle. L'irruption du numérique représente, en revanche, une rupture majeure. Elle apporte une nouvelle dimension essentielle, celle qui résulte de la conjonction de la communication entre les équipements et de l'augmentation du nombre de données utilisées (big data).

Dans ce contexte nouveau, l'Inra développe deux projets dédiés en matière de big data. Le premier concerne la mise en place d'un portail de données agricoles, visant à mettre à disposition des données à vocation agricole (données publiques ouvertes, données sanitaires et économiques, données privées provenant d'agriculteurs ou d'autres acteurs économiques, etc.), afin de favoriser l'innovation ouverte en matière de services à l'agriculture.

Le second a trait à la structuration de la recherche française dans le domaine de l'agriculture numérique, avec la création d'un centre interdisciplinaire de recherche dédié, dans l'objectif d'allier recherche-formation-développement à un niveau d'excellence, mais également avec le soutien au développement de nouveaux modèles numériques d'agroécosystèmes et de capteurs adaptés aux conditions agricoles.

Le défi du changement climatique

La troisième priorité est l'adaptation des systèmes agricoles et forestiers au dérèglement climatique, l'atténuation de leurs effets sur le climat et les services écosystémiques qu'ils sont susceptibles d'offrir pour contribuer au contrôle des émissions de gaz à effet de serre.

Le programme de recherche international « 4 pour 1000 », conduit par l'Inra, le Cirad (Centre international en recherche agronomique pour le développement) et l'IRD (Institut de recherche pour le développement), a pour but d'améliorer les stocks de matière organique des sols de 4 pour 1000 par an. Une telle augmentation permettrait de compenser l'ensemble des émissions des gaz à effet de serre de la planète.

La séquestration du carbone dans les sols agricoles est une des contributions de l'agriculture et de l'ensemble du secteur des terres, dont la forêt, à l'objectif de réduction des émissions de gaz à effet de serre. Les experts considèrent que 1,2 milliard de tonnes de carbone par an pourraient être stockées dans les sols agricoles. Entre 24 et 40 millions de grains supplémentaires pourraient être produits chaque année en Afrique, Asie et Amérique du Sud en stockant une tonne de matière organique par hectare.

Développer des systèmes alimentaires sains et durables

L'approvisionnement des consommateurs, souvent urbains, avec une alimentation saine et produite dans un souci de durabilité de l'ensemble de la chaîne alimentaire est la quatrième priorité.

L'Inra dispose d'une expérience et d'un vrai savoir faire, qui permettent d'élargir le champ de la recherche, notamment en ce qui concerne les nouveaux mondes microbiens. La terre est l'un des principaux réservoirs de biodiversité de la planète de sol. Dans un hectare de sol, on trouve 1,5 tonne de bactéries. Certains micro-organismes protègent même les plantes contre les maladies : 70% des antibiotiques que l'on utilise actuellement ont été extraits du sol !
Grâce aux progrès de la génomique, il est possible d'extraire l'ADN de tous les micro-organismes, champignons comme bactéries, présents dans le sol. L'immensité de la biodiversité des sols et la complexité des interactions entre organismes et avec leurs habitats sont encore peu connues en dépit des progrès majeurs au cours des dernières années. L'exploration à haut débit du métagénome des sols a montré que la distribution de biodiversité varie selon les propriétés physico-chimiques des sols. L'objectif de l'Inra est de progresser sur la connaissance des fonctions des gènes : l'effet de la plante sur la diversité microbienne associée aux racines ouvre des perspectives pour une meilleure croissance et une meilleure santé des plantes.


© shutterstock

Promouvoir les usages non-alimentaires des bioressources

Si l'agriculture a pour mission principale de nourrir l'humanité, les bioressources agricoles peuvent aussi avoir d'autres usages : production de matériaux, de molécules ou d'énergie (carburants comme l'éthanol ou le biodiesel). L'objectif est de promouvoir ses usages tout en veillant soigneusement à éviter toute concurrence en termes d'utilisation des terres agricoles. Telle est la cinquième priorité de l'INRA.
Plusieurs pistes sont explorées. La solution pour éviter cette concurrence réside dans le développement des agrocarburants de deuxième génération, élaborés à partir de sous-produits : huiles récupérées, ligno-cellulose, etc. Un autre domaine de recherche concerne le recyclage des matériaux, et en particulier des déchets de l'industrie alimentaire. L'Inra pilote le projet international EcoBioCAP qui vise à promouvoir le développement d'emballages biodégradables issus de co-produits des industries agro-alimentaires. Seize partenaires de huit pays européens participent à ce projet.
Depuis une dizaine d'années, de nombreux emballages alimentaires biodégradables ont été développés mais un certain nombre de controverses majeures (détournement de ressources à usage alimentaire, complication des circuits de recyclage/valorisation etc.) a rapidement freiné la croissance de ces emballages, en particulier dans le domaine agro-alimentaire. Le projet cherche à développer une approche plus globale et systémique afin de restaurer la confiance et l'intérêt des consommateurs et utilisateurs.

BACTÉRIES DE L'INTESTIN : LE LIEN ENTRE ALIMENTATION ET SANTÉ

Depuis peu considéré comme un organe à part entière, qui révolutionne science et médecine, l'intestin humain fait l'objet de nombreux programmes de recherches. Avec 23 publications à son actif depuis 2006, dont six dans « Nature » et un dans « Nature methods » depuis 2010, l'Inra est le numéro 1 mondial de la recherche sur la métagénomique humaine. On sait aujourd'hui qu'il y a 100 000 milliards de bactéries dans un intestin, soit dix fois plus que le nombre de cellules constituant le corps humain et trente fois plus de gènes que notre propre génome.
Des expériences montrent que l'absence de certaines bactéries chez des animaux provoque des problèmes métaboliques, immunitaires voire neurologiques. L'analyse du métagénome des bactéries contenues dans l'intestin va permettre de comprendre ce qui se passe dans les flux métaboliques et établir des liens avec la santé de l'individu. Le lien a déjà été établi entre obésité, diabète, allergies et altération du microbiote. L'Inra travaille, en particulier, sur le lien avec des maladies psychiatriques et certaines formes d'autisme à déclenchement tardif.
Ces recherches pourraient donc avoir un impact majeur pour les politiques de santé publique. Outre la validation de l'importance d'une bonne alimentation pour la santé de l'individu, elles devraient permettre des thérapies plus personnalisées, voire une médecine préventive.

ENTRETIEN

Philippe Mauguin

PRÉSIDENT DIRECTEUR GÉNÉRAL DE L'INRA

« L'agriculture de demain se caractérisera par la diversité des systèmes de production agricole, garantie de production d'aliments sains et durables »



Quels sont les défis auxquels doit faire face l'agriculture mondiale ?

Philippe Mauguin – Au cours des cinquante dernières années, la production agricole mondiale a triplé alors que la population a été multipliée par 2,3. Ce progrès, bien que réel, n'est pas pour autant satisfaisant. On estime que 800 millions d'habitants souffrent de carences alimentaires tandis qu'un milliard souffre d'obésité.
Par ailleurs, la hausse de la production a été obtenue au prix d'une standardisation des systèmes agricoles de la planète. Le nombre d'espèces végétales et animales a diminué. En dépit de l'utilisation accrue des intrants, les rendements baissent : nous avons atteint les limites du modèle. Cette crise du modèle, ainsi que les transitions agricole, alimentaire, écologique ou énergétique dans le contexte du dérèglement climatique, vont conditionner l'évolution de l'agriculture pendant les années à venir et bouleversent les questions posées à la recherche agronomique.

Dans ces conditions, comment voyez-vous l'agriculture en 2050 ?

P. M. – Je ne pense pas qu'un modèle unique va s'imposer : il faut raisonner en termes d'agricultures du futur. On ne peut pas opposer une agriculture « high tech » à une autre qui serait « low tech ». Nous avons besoin de mobiliser l'ensemble des leviers pour atteindre l'objectif d'avoir une agriculture durable à l'horizon 2050.
L'agriculture est diverse et cette variété est une source de résilience, notamment aux accidents climatiques et sanitaires. J'en veux pour preuve le fait que les céréaliers français, qui ont travaillé avec des mélanges de variétés, ont obtenu de meilleurs rendements en 2016 et ont mieux surmonté la crise de ce secteur que le reste de la profession. Une des clés de l'agriculture de demain réside dans le fait de réexplorer la diversité des systèmes agricoles

Quel est le rôle de l'Inra ?

P. M. – Nous sommes un des rares organismes à disposer de l'ensemble des compétences nécessaires, grâce à la richesse et à la diversité de nos différentes communautés de chercheurs (agronomes, ingénieurs, biologistes, nutritionnistes, spécialistes de l'environnement, économistes, sociologues, etc.). Notre maillage territorial fort nous permet d'être en contact direct avec les acteurs locaux, au plus près des réalités du monde agricole. Enfin, nous avons une réelle expérience des partenariats extérieurs, tant au niveau national qu'international, et une réelle capacité à mener à bien des projets communs.
Mais notre principale force réside, à mon sens, dans notre capacité à mobiliser ces ressources, internes et externes, en vue de travailler à l'échelle adéquate, depuis le sol jusqu'à l'écosystème global, et d'ouvrir de nouveaux champs de recherche. Notre savoir-faire unique dans le monde en matière de recherche sur la métagénomique humaine nous permet, par exemple, d'apporter un nouvel éclairage dans le domaine des liens entre nutrition et santé de l'individu.

Accidents, malaises, catastrophes...
Et vous, que feriez-vous ?

Stratéact' - Octobre 2016 - Crédit photo : Renaud Marion

Adoptons les comportements qui sauvent

Informez-vous, formez-vous :
www.comportementsquisauvent.fr



SAPEURS POMPIERS DE FRANCE

croix-rouge française





La réalité virtuelle aide à récupérer d'un AVC

En sollicitant les zones du cerveau atteintes après un accident vasculaire cérébral, des exercices de jeu virtuel permettent aux patients de retrouver le contrôle de leurs membres supérieurs. Une approche innovante expérimentée à Barcelone. Reportage.

Par Sylvie Riou-Milliot



EODYNE

À L'HÔPITAL DE L'ESPERANÇA, près du parc Güell, sur les hauteurs de Barcelone (Espagne), dans la salle de rééducation du service de neurologie, plusieurs victimes d'accident vasculaire cérébral (AVC) échangent en attendant l'heure de leur rendez-vous. *« La semaine dernière, j'ai obtenu 400 points avec les balles !* s'exclame fièrement Antonio, 75 ans, à l'adresse de José, son cadet de 10 ans. *Et toi, ton score, c'est combien ?* » La neurologue responsable du service, Esther Duarte, sourit. Elle connaît l'engouement de ses patients pour cet exercice... virtuel. Les balles dont parle Antonio existent en effet uniquement sur un écran d'ordinateur. Mais l'effort est bien réel pour tous les patients venus consulter pour surmonter les séquelles d'un AVC, allant de la paralysie complète d'un bras (hémiplégie) à une simple faiblesse musculaire (hémiparésie) ou à des troubles de la sensibilité. Autant de manifestations consécutives aux dégâts occasionnés sur des zones du cerveau insuffisamment vascularisées au moment de l'AVC, quand les artères ont été obstruées par un caillot. Des handicaps à l'origine de difficultés quotidiennes pour se laver, se nourrir, s'habiller. Aujourd'hui une victime d'AVC sur trois reste dépendante.

1 AVC
toutes les 4 minutes en France (150 000 par an environ).

40 000
morts par an environ (Plus de 1 victime sur 4 décède dans le mois qui suit).

3 survivants
sur 4 gardent des séquelles définitives.

Dans son service, Esther Duarte expérimente depuis plusieurs mois un programme pilote européen de neuroréhabilitation. Appelé RGS (Rehabilitation Game System), il a été conçu et développé par le laboratoire catalan Synthetic Perceptive Emotive and Cognitive Systems (SpECS) à l'université Pompeu Fabra de Barcelone. Quinze ans de travail pour cette « *kinésithérapie par réalité virtuelle* » qui vise à rééduquer le membre supérieur et qui débute entre le huitième et le quatorzième jour après un AVC, à raison de trois séances hebdomadaires de trente minutes pendant six semaines. Son originalité par rapport à la rééducation « classique » ? *« Il s'adapte automatiquement au handicap de la personne, que celui-ci soit mineur ou important, ce qui permet une prise en charge personnalisée*, explique Esther Duarte. *Mais nous ne l'employons jamais seul ! Il vient en complément de la kinésithérapie traditionnelle qui occupe trois*

Un dispositif innovant adapté à chaque patient

1. Une caméra filme les mouvements des deux bras du patient. Cette reproduction des mouvements du corps permet la reconstruction des images des deux avant-bras virtuels.

2. Des longs gants équipés de capteurs sont enfilés avant la séance. Les mouvements détectés permettent la reconstruction sur l'écran de « vrais-faux avant-bras ».

3. Sur l'écran de l'ordinateur, divisé par une ligne blanche, apparaissent les reconstructions des membres supérieurs. Le logiciel permet des exercices (attraper les balles, les ranger…) qui s'adaptent automatiquement aux possibilités du patient pour le faire progresser.

Le projet pilote européen de neuroréhabilitation RGS (ici testé par un patient à son domicile) a permis, en complément de la rééducation classique, d'obtenir 20 % d'efficacité supplémentaire pour retrouver une mobilité.

heures quotidiennes pendant trois mois. Des études ont montré que cet ajout se traduisait par 20 % d'efficacité supplémentaire dans le groupe bénéficiant des deux approches. » Le principe : utiliser au mieux les facultés dites de plasticité du cerveau — sa capacité à reformer les connexions neuronales endommagées — pour retrouver au plus tôt la motricité perdue. Car il est désormais établi que la clé du succès lors de ces atteintes cérébrales tient à la précocité de la prise en charge (*lire l'encadré p. 100*) y compris en phase de rééducation : ces exercices permettent de favoriser la formation de nouveaux réseaux au niveau du cortex moteur, dans les zones endommagées.

Un exercice fatigant mais stimulant

Antonio, tout sourire, s'installe devant l'ordinateur où de grosses sphères colorées arrivent plus ou moins vite du fond de l'écran. Sa mission : les immobiliser avec de « vrais-faux » avant-bras. Avant de commencer la séance, il enfile des gants équipés de capteurs de mouvement et bouge ses bras devant l'écran, le temps que la caméra, située en face de lui, filme ces déplacements et reconstruise l'image de deux avant-bras sur l'écran. L'exercice peut alors démarrer. Du fond de l'écran divisé en deux par une ligne blanche, les balles se dirigent à droite et à gauche. *« Cela m'oblige à utiliser mes deux bras,*

THÉRAPEUTIQUE

Gagner du temps pour irriguer de nouveau le cerveau

Deux techniques existent pour détruire le caillot de sang dans le cerveau. Mais moins de 5 % des 130 000 personnes victimes d'AVC chaque année en France en profitent.

Une minute de perdue, ce sont deux millions de neurones en moins. « *Time is brain* » comme disent les Anglo-Saxons (le temps... c'est du cerveau). De la précocité dans l'administration des traitements dépend en effet le succès de la récupération. Deux techniques sont disponibles. La première et la plus ancienne, la thrombolyse dite aussi fibrinolyse, est chimique. Elle consiste à administrer par voie veineuse une substance (rtpA) provoquant la fonte du caillot à l'origine de l'accident vasculaire cérébral (AVC). La seconde, la thrombectomie, est disponible depuis environ cinq ans. Purement mécanique, cette opération dite de radiologie interventionnelle consiste à introduire une sonde par l'artère fémorale et la faire remonter jusqu'aux principales artères du cou (carotides) pour la disposer au plus près du caillot. Ce dernier est alors retiré par le biais d'une grille déployée par la sonde qui est dotée — ou pas — d'un micro-aspirateur. Seul bémol : dans moins de 10 % des cas, le caillot est situé dans une zone inaccessible du cerveau et le geste ne peut alors pas être pratiqué. Ces deux techniques, qui peuvent être associées, ont une limite majeure : « *Elles doivent être utilisées dans un délai inférieur à six heures après l'apparition des signes cliniques de l'AVC* », martèle Bertrand Lapergue, neurologue à l'hôpital Foch de Suresnes (Hauts-de-Seine). Passé ce délai, la thrombolyse provoque des hémorragies et la thrombectomie est moins efficace. Or, malgré les campagnes d'information, moins de 5 % des 130 000 personnes victimes d'AVC en France chaque année arrivent à temps dans ce que les spécialistes nomment les « *stroke units* », unités neurovasculaires (UNV). Avec des conséquences lourdes : trois personnes sur quatre ont des séquelles définitives et une sur trois reste dépendante. Depuis plusieurs années, un maillage national a donc été mis

explique Antonio, *et l'exercice est même intensifié du côté affaibli. C'est fatigant, mais stimulant !* » « *Cela évite surtout un écueil fréquent en rééducation, le fait que le patient néglige d'utiliser son côté déficitaire et compense avec le membre valide,* détaille Esther Duarte. *Lors de cet exercice, il est contraint de faire travailler les deux côtés.* » Les tâches d'Antonio sont variées, mobilisant à chaque fois des muscles différents. « *Il doit éviter les balles et les pousser sur le côté, ou les attraper ou les ranger dans un endroit précis* », détaille Belen Rubio, l'une des scientifiques impliquée dans le projet. « *Ce qui importe, c'est l'adaptation automatique au handicap grâce à un contrôleur intelligent de mouvement (Personalized Training Module — PTM), qui permet d'ajuster la difficulté en fonction des possibilités de chacun* », explique Martina Maier, autre membre de l'équipe. Au gré des séances, différents paramètres (vitesse de déplacement, nombre de balles) peuvent être revus à la hausse, pour augmenter le degré de difficulté et permettre de progresser. Le dispositif a même été testé à domicile. « *Avec grand succès ! les patients voulaient tous garder le matériel* », se souvient la neurologue.

LES 5 SIGNES QUI ALERTENT

1. Déviation de la bouche ou du visage.
2. Faiblesse d'un bras, d'une jambe.
3. Difficultés à s'exprimer.
4. Troubles de l'équilibre, de la motricité. de la sensibilité
5. Diminution brutale de la vision.

Près de 600 personnes ont déjà testé le programme

Le programme n'est pas seulement testé dans les hôpitaux de Barcelone mais aussi à Tarragone (Espagne), Braga (Portugal), Düsseldorf (Allemagne), Sheffield (Royaume-Uni) et depuis peu à San Diego (États Unis). Plus de 30 publications parues dans différentes revues internationales ont validé l'intérêt de cette approche. Des travaux similaires sont aussi menés par d'autres équipes à travers le monde (Suisse, Israël, États-Unis, France). Mais RGS est, à ce jour, le programme qui a été testé sur le plus grand nombre de malades. « *Près de 600 patients au total* », précise son concepteur, le Pr Paul Vesrchure, neuroscientifique à l'université Pompeu Fabra et responsable du spECS associé à Eodyne, la société espagnole chargée du développement commercial. « *On sait que le cerveau n'est pas une machine à laver et qu'en cas de panne, les pièces ne peuvent pas être remplacées,* poursuit le spécialiste. *Le cerveau se rééduque mieux quand il est actif.*



La thrombectomie, technique récente, consiste à retirer du cerveau le caillot au moyen d'une sonde introduite par l'artère fémorale.

en place et environ 140 UNV sont réparties sur l'ensemble de l'Hexagone. Mais cette organisation a été conçue pour dispenser la thrombolyse, le premier traitement disponible, pas le second, plus récent, pour lequel il n'existe qu'une quarantaine de plateformes indispensables à sa réalisation. *« L'objectif n'est pas d'en créer autant que les UNV mais d'en avoir dans des zones déjà éloignées de celles-ci pour éviter toute perte de chance aux malades et assurer sur l'ensemble du territoire un égal accès aux soins pour tous »*, plaide le neurologue. Or, de plus en plus d'études plaident en faveur de la supériorité de la thrombectomie. Il est donc urgent que le maillage géographique soit repensé par les autorités de santé.

Il a surtout horreur de la répétition et de l'échec, deux situations fréquentes en kinésithérapie traditionnelle. » Ces tâches répétitives (serrer des boules en mousse, écarter les doigts, lutter contre la résistance du bras du kinésithérapeute...) sont en effet souvent perçues comme fastidieuses par les patients. Avec le virtuel, ces derniers sont stimulés en fonction de leurs besoins et mis en confiance sur leurs performances, ce qui les motive pour continuer leur rééducation.

Les balles ne sont pas les seuls jeux proposés. Le dernier environnement mis au point par SpECS transporte les patients dans une boulangerie. Sur la droite de l'écran, des bacs de friture avec des beignets qui dorent doucement. Mais une surveillance attentive s'impose pour retirer, de la main droite, ceux qui brûlent tout en manipulant, de la main gauche, d'autres gâteaux. *« Ce qu'il nous faut maintenant mieux préciser, c'est la tâche à effectuer en fonction de la localisation de l'AVC »*, souligne Esther Duarte. Quant aux mécanismes exacts à l'origine de la reformation des nouvelles connexions, ils devront aussi être étudiés. L'équipe envisage déjà d'autres applications pour les troubles cognitifs fréquents après un AVC (troubles de l'attention, concentration, mémoire). Et prévoit aussi des applications mobiles pour smartphone, tablette, etc. Pour Paul Verschure, l'urgence est de démocratiser l'accès à ce type de rééducation. *« Nous savons désormais qu'elle est efficace, ce serait une faute de ne pas permettre au maximum de patients d'en bénéficier pour récupérer leur autonomie*, insiste-t-il. *Et s'il faut agir tôt, il faut aussi garder en tête qu'il n'est jamais trop tard pour stimuler un cerveau.* » ■

« Ce qu'il nous faut maintenant mieux préciser, c'est la tâche à effectuer en fonction de la localisation de l'AVC »
Esther Duarte, neurologue, hôpital de l'Esperança, Barcelone (Espagne)


MICHAEL BARNES

BIRGITTA WHALEY
UNIVERSITÉ DE CALIFORNIE, BERKELEY, ÉTATS-UNIS

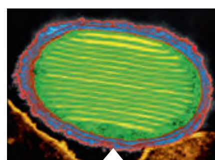
« Percer les secrets du vivant grâce à la biologie quantique »

Rencontre avec la chimiste américaine à l'occasion de la conférence internationale Falling Walls de Berlin dont « Sciences et Avenir » est partenaire.

LES PERCÉES SCIENTIFIQUES À MÊME DE bouleverser nos sociétés seront au cœur de la prochaine conférence internationale Falling Walls, qui se tiendra à Berlin le 9 novembre, et dont *Sciences et Avenir* est partenaire. Parmi les 16 scientifiques de renommée mondiale (le physicien américain Neil Gershenfeld, du Massachusetts Institute of Technology de Cambridge, le biochimiste néo-zélandais Rob Knight, de l'université de Californie à San Diego, la spécialiste en cybersécurité britannique Sadie Creese, de l'université d'Oxford…) qui vont intervenir tout au long de la journée, en 15 minutes chrono, l'intitulé de l'intervention consacrée à la « biologie quantique » est parmi les plus curieux. En primeur pour notre magazine, Birgitta Whaley, qui dirige le Berkeley Quantum Information and Computation Center de l'université de Californie, a accepté d'expliquer en quoi les « *mécanismes quantiques à l'œuvre chez les organismes vivants* » pouvaient révolutionner le monde. D'autant qu'ils ne sont qu'une cinquantaine de scientifiques à travers la planète à poursuivre ces travaux fondamentaux.

Quand on évoque l'information quantique, on pense en premier lieu à la physique et aux particules de matière ou de lumière. Or, vous travaillez sur le vivant ?
Nous étudions tout un éventail d'organismes, des plantes vertes aux bactéries, qu'il s'agisse d'unicellulaires ou de feuilles. Mais aussi des oiseaux ou d'autres animaux. Nous voulons apporter la preuve qu'il existe un comportement quantique chez ces organismes vivants, à toute petite échelle, impliquant des « grains de lumière » (photons).

Avez-vous découvert ce comportement quantique ?
Oui, il est tout à fait évident que des effets quantiques sont au cœur, en particulier, de ce qu'on appelle la photosynthèse. Nous les observons dans les premiers stades de ce mécanisme essentiel à la vie qui permet l'absorption de la lumière, puis sa transformation en énergie électronique, les électrons déclenchant ensuite les réactions chimiques qui permettent la formation de glucides [constituants essentiels des êtres vivants].


EYE OF SCIENCE/PHANIE

La bactérie pourpre sulfureuse « Ectothiorhodospira » a la particularité de réaliser une photosynthèse dans un milieu extrême en l'absence d'oxygène.

Outre la connaissance fondamentale, pourquoi est-ce important de comprendre ce mécanisme ?
Parce qu'il est essentiel à la production de nourriture et donc à notre vie. Mais imaginez aussi que nous parvenions à réaliser une photosynthèse artificielle qui

COMPORTEMENT

Fascinante intelligence spatiale des oiseaux

La migration des oiseaux et leur capacité à déterminer la bonne direction à prendre sont aussi un domaine « très tendance » en biologie quantique ! Birgitta Whaley le trouve d'autant plus fascinant que *« les effets quantiques ne sont pas du tout évidents. Est peut-être impliquée ici ce qu'on nomme l'intrication quantique »* [deux objets qui peuvent être spatialement séparés mais doivent être traités globalement, comme un seul]. La lumière est en effet absorbée par une molécule à l'arrière de la rétine de chaque œil de l'oiseau, qui produit puis transfère un électron. On se demande alors quel est le comportement quantique des deux électrons (entre eux) qui pénètrent dans le cerveau de l'oiseau, ce qui lui délivre un message particulier. Mais il ne s'agit pour l'instant que *« d'une belle hypothèse et il nous faudrait des données expérimentales »*.



Des effets quantiques sont au cœur du mécanisme de la photosynthèse, qui consiste chez les plantes à absorber la lumière pour la convertir en énergie.

PLAIN PICTURE

capture l'énergie solaire aussi bien que le font les plantes, dont le processus a été hautement optimisé après 3,6 milliards d'années d'évolution. Ce ne serait plus 15 % de rendement que l'on obtiendrait, comme cela se pratique avec le photovoltaïque aujourd'hui, mais presque 100 % !

Qu'ont donc réussi à faire les plantes, et pas nous ?

Chez les plantes vertes, des récepteurs composés de chlorophylle sont capables d'absorber des photons alors même que la lumière reçue est très faible. Chacun d'eux ne reçoit en moyenne qu'un photon toutes les dix secondes. Il faut que la plante soit vraiment très efficace pour réaliser cette absorption avec si peu de lumière. Il y a même des bactéries marines qui n'absorbent qu'un photon (dans l'infrarouge) toutes les vingt minutes.

Qu'est-il important de mesurer ?

Les détails de ce processus d'absorption, en particulier sa dynamique... Nous connaissons très bien la chlorophylle, nous savons quelle partie de la molécule absorbe le photon et à quel niveau. Le problème vient de ce que cette chlorophylle est enchâssée dans un échafaudage complexe de protéines-pigments qui se mettent à leur tour à vibrer, à entrer en rotation... Nos expériences suggèrent fortement que ces vibrations œuvrent en conjonction avec l'excitation électronique déclenchée par l'arrivée du photon. Elles aident au transfert des électrons qui déclencheront ultérieurement des réactions chimiques. Ce mécanisme d'absorption, facilité par des effets quantiques, peut avoir jusqu'à 99 % d'efficacité. Un photon arrive, un électron est produit. Finement réglé, il répond à une nécessité de survie de l'organisme.

Quel genre d'appareillages utilisez-vous pour les mesures ?

Nous employons des faisceaux laser pulsés, qui permettent de préciser la dynamique d'excitation des molécules. Par exemple, avec trois *pulses* qui se succèdent [arrivée de photons d'une certaine fréquence], nous pouvons voir, lors du premier, la molécule réceptrice amorcer son passage vers un état « excité », puis, lors du deuxième *pulse*, la molécule devenir entièrement excitée, le troisième *pulse* permettant d'apporter des précisions sur la durée de cette excitation.

Cela ne semble pas évident...

En biologie, vous ne savez pas où s'arrête le système quantique et où commence son environnement. La plupart des spécialistes haussent les épaules en disant que tout cela est trop compliqué, qu'ils ne veulent même pas en entendre parler !

Dans combien de temps pensez-vous comprendre ce qui se passe ?

Peut-être dans vingt ans... Mais d'ici à dix ans, grâce à la biologie synthétique, nous devrions pouvoir élaborer une structure qui fasse progresser notre compréhension. ■

Propos recueillis par Dominique Leglu

@dominiqueleglu

PARTENARIAT SCIENCES AVENIR

Falling Walls
Suivez en direct, les 8 et 9 novembre, les différents événements autour de la conférence internationale sur les percées scientifiques au service de la société avec nos envoyés spéciaux sur notre site : **sciav.fr/837berlin**
Et sur **www.falling-walls.com** (en anglais).

Laurent Schwartz, radiologue et cancérologue

Franc-tireur de la lutte anticancer

Ce chercheur atypique et controversé fustige les recherches actuelles qu'il juge trop coûteuses et inefficaces. Il avance une explication simple du mécanisme de la maladie et plaide pour un traitement à base de molécules usuelles.

Laurent Schwartz s'approche d'une démarche silencieuse, ponctuel au rendez-vous. Sa voix est feutrée. Il faut tendre l'oreille pour ne pas perdre le fil d'une pensée qui suit son chemin insolite. S'il était un animal, ce serait un chat. Pour sa rondeur chaleureuse, sa malice, la délicatesse des gestes… mais aussi le plaisir qu'il prend à tester son interlocuteur, et ces griffes que l'on sent poindre. Car Laurent Schwartz n'est pas un mandarin adoubé par ses pairs. La carrière de ce « corsaire » tel qu'il se définit lui-même est davantage ponctuée de doutes, de convictions et de joutes que de confortables consultations. Et l'on sent que ni le médecin, ni l'homme n'en sont sortis indemnes.
« J'ai fait ce que j'avais à faire. À d'autres de continuer », affirme celui qui, à 58 ans, édite un nouveau livre au titre aussi grinçant qu'une craie sur un tableau noir : *Cancer, un traitement simple et non toxique*, préfacé par le prix Nobel Luc Montagnier. Il y réaffirme sa conviction : la lutte contre le cancer se perd dans des méandres trop complexes pour trouver une issue favorable. Elle engloutit des milliards de dollars *« sans avoir amélioré significativement la survie générale des patients »*, martèle le chercheur, montrant des courbes réalisées avec l'aide de Mireille Summa, enseignante-chercheuse en statistiques à l'université Paris-Dauphine, à partir des données disponibles depuis 1960. Chimiothérapie, immunothérapie, thérapies ciblées… ces voies majeures de traitement, aux effets secondaires parfois redoutables, ont, selon lui, fermé les esprits à toute alternative et permis à l'industrie pharmaceutique de prospérer grâce aux coûts exorbitants des soins, que viennent d'ailleurs de dénoncer une centaine de cancérologues réputés. *« C'est un épisode de folie dont il faut sortir ! Car il est probable qu'il y a une explication plus simple au mécanisme du cancer »*, insiste Laurent Schwartz.

BIO EXPRESS

1958 Naissance à Strasbourg.

1977-1983 Études de médecine à la faculté de Strasbourg.

1984-1990 Internat en France puis en résidence à l'université Harvard, Cambridge, Massachusetts (États-Unis).

Depuis 1993 Cancérologue de l'Assistance publique-Hôpitaux de Paris (AP-HP).

1998 Parution de *Métastases, vérité sur le cancer* (Hachette).

2000-2016 Détaché auprès de l'École polytechnique.

2013 Parution de *Cancer : guérir tous les malades ?* (Hugo & Compagnie).

2016 Parution de *Cancer, un traitement simple et non toxique* (Éd. Thierry Souccar).

Trouver des molécules pour rétablir le métabolisme

Laurent Schwartz s'intéresse à la piste « métabolique », suivie désormais par plusieurs équipes dans le monde dont celle du Pr Féron, de l'Université catholique de Louvain (Belgique) et ouverte par le prix Nobel Otto Warburg (1931). Selon ce biochimiste allemand, le cancer a sans doute d'innombrables causes secondaires, mais une seule primaire. *« C'est probablement le rendement de la cellule qui s'effondre*, assure Laurent Schwartz *: son usine énergétique (mitochondrie) se met à dysfonctionner car elle ne peut plus digérer le glucose. Elle libère alors notamment des molécules dérivées de l'oxygène, très réactives chimiquement (radicaux libres). Celles-ci produisent une activation anormale des gènes du noyau cellulaire et entraînent une perte des défenses immunitaires. C'est très clairement une maladie du vieillissement, les deux tiers ayant lieu après 70 ans. »* Pour le chercheur, l'une des armes pourrait être des molécules comme l'acide lipoïque et l'hydrocitrate, prescrites pour d'autres affections comme le diabète, qui permettraient de relancer les mitochondries. Une piste sur laquelle travaille Sabine Peres, maître de conférences dans le laboratoire de recherche en informatique à l'université Paris-Sud (Orsay), qui collabore avec le médecin depuis deux ans. *« Laurent Schwartz a su fédérer autour de lui une équipe de biophysiciens, mathématiciens, informaticiens… Il a une très grande capacité à ouvrir des débats. C'est un homme passionné et passionnant, qui aime tester des idées. Nous cherchons à mieux comprendre le fonctionnement des cellules cancéreuses en construisant des modèles théoriques pour trouver des molécules permettant de rétablir un métabolisme normal. »*


ALEXANDRE GOUZOU POUR SCIENCES ET AVENIR

« *Tester des idées* », c'est dans ce but que Laurent Schwartz a choisi la cancérologie. « *C'est un challenge : il y a un code à craquer !* » À 25 ans, il a mis un océan entre lui et sa ville de Strasbourg où ses pas suivaient de trop près ceux de son père, doyen de la faculté de médecine. Il rejoint les National Institutes of Health puis l'université Harvard, à Cambridge (États-Unis), où il se spécialise en radiothérapie et innove dans le secteur de l'imagerie médicale, avant de rentrer en France. Mais la sortie de son livre *Métastases, vérité sur le cancer*, en 1998, sonne le glas des années « heureuses » : « *On m'a reproché de donner de faux espoirs aux malades.* » Mis au ban, il intente un procès à son employeur, l'Assistance publique-Hôpitaux de Paris (AP-HP), pour obtenir sa réintégration. Il est alors détaché auprès de l'École polytechnique où, jusqu'en janvier dernier, il continue d'explorer et de publier sur les questions qui le passionnent : comment se forment les organes ? Pourquoi les vaisseaux sanguins ressemblent-ils tant aux bras des fleuves ? Sans rien céder de ses convictions... jusqu'à franchir le Rubicon : « *J'ai tenté par tous les moyens de convaincre mes confrères. Mais isolé, sans soutiens officiels, j'ai choisi de traiter mes malades librement.* » Un acte que beaucoup de ses pairs condamnent, rappelant que nul n'est autorisé à mener des essais thérapeutiques hors cadre réglementé. « *Il n'existe aucune preuve de l'efficacité de ces molécules pour traiter le cancer. On ne peut pas faire croire que l'on possède la clé pour soigner cette maladie !* », explique ainsi un oncologue d'un hôpital parisien. Un choix que Laurent Schwartz dit assumer « *au nom de l'assistance à personne en danger* ».

Des patients volontaires pour tester ses traitements

Car l'oncologue, à travers les réseaux sociaux, a fédéré une communauté de patients qui teste volontairement ces traitements. « *Je ne sais pas si je dois ma survie aux thérapies classiques ou à ces molécules — ou à la combinaison des deux — mais ma maladie est stabilisée depuis deux ans*, témoigne ainsi Marie, atteinte de métastases au cerveau. « *Il est difficile de tirer des conclusions de ces quelques cas*, reconnaît Laurent Schwartz, *mais beaucoup de malades, dont le pronostic ne dépassait pas quelques mois, sont toujours vivants après plusieurs années. C'est pourquoi j'en appelle aux institutions pour que des essais thérapeutiques soient menés sur une grande échelle !* » Pour lui, ce moment ne saurait tarder : « *L'armure des cancérologues commence à se fissurer...* », assure-t-il. ■ **Carole Chatelain**

@carolechatelain

« Il a su fédérer autour de lui une équipe de biophysiciens, mathématiciens, informaticiens... Il a une très grande capacité à ouvrir des débats »

Sabine Peres, maître de conférences à l'université de Paris-Sud, à Orsay (Essonne)



Toute la richesse des aliments fermentés

Légumes, céréales ou laitages fermentés cumulent de nombreux atouts, sanitaires et nutritionnels. Un mode de préparation qui redevient tendance.

Choucroute, saucisson, cornichon, fromage, pain, yaourt, sauce de soja, chutney... Voici quelques exemples d'aliments fermentés, les humains ayant de tout temps *« laissé faisander les produits de la chasse ou de la pêche »*, écrit Marie-Claire Frédéric, historienne de l'alimentation (1). *« Ils ont découvert par hasard que des aliments placés dans une fosse à l'abri de l'air pouvaient se conserver très longtemps. »* Mais l'arrivée de la stérilisation et de la congélation avait quasiment fait disparaître des cuisines ce procédé de conservation. Or, voici qu'il revient en force, les aliments fermentés faisant partie des dix tendances alimentaires du moment selon une étude citant l'exemple du kéfir — un lait fermenté venu du Caucase — et du kombucha — une boisson acidulée mongole — dont les ventes s'envolent aux États-Unis (2). En France aussi, ils ont la cote. En témoignent ces publications récentes nous invitant à faire fermenter nous-mêmes nos légumes. *« Il y a dix ans, personne n'en parlait. Aujourd'hui, les consommateurs commencent à se détourner de la nourriture transformée pour le "fait maison". Ils ont envie de produits plus simples et plus sains »*, analyse l'agronome Claude Aubert, l'un des premiers à avoir vulgarisé les vertus nutritionnelles de ces produits fermentés riches en probiotiques naturels.

La fermentation élimine les mauvais germes

Laissé à l'air libre, un chou finira par se décomposer. Découpé et tassé dans un bocal ou une jarre avec de l'eau et du sel, il fermentera et deviendra choucroute. Le processus est identique avec le lait. Cru, il « tourne », au bout de quelques jours. Pasteurisé, il se garde un peu plus longtemps. Transformé en yaourt ou en fromage, il se conserve plusieurs semaines, voire des années pour le comté ou le parmesan. Cette modification est due à des micro-organismes (bactéries, moisissures, levures) qui prolifèrent spontanément sur les aliments ou sont ajoutés sous forme de ferments. N'ayant pas besoin d'oxygène pour se multiplier, ils supplantent les bactéries pathogènes, prolongeant ainsi la limite de consommation des denrées alimentaires périssables.

1g
de choucroute
contient un milliard de bactéries de chacune des dizaines d'espèces de micro-organismes qu'elle renferme contre quatre ou cinq espèces dans une gélule de probiotiques.

Le procédé est sans danger

« Le risque de s'intoxiquer avec un bocal lacto-fermenté est nul », selon Marie-Claire Frédéric. Pas besoin de stérilisation comme pour les conserves. De l'eau, du sel et un récipient propre suffisent à préparer ses produits soi-même. Avant de se lancer, se laver les mains avec de l'eau et du savon en évitant les solutions antibactériennes

BERNARD MARTINEZ POUR SCIENCES ET AVENIR

LEVURE DE BIÈRE Appelé aussi levure de boulanger, ce champignon microscopique (*Saccharomyses cerevisiae*) entraîne une fermentation alcoolique utilisée pour faire de la bière, du vin, du pain à la levure…

FERMENTATION LACTIQUE Sous l'effet des lactobacilles, les glucides des aliments sont transformés en acide lactique. C'est de loin le type de fermentation le plus utilisé en alimentation (légumes, produits laitiers, pain au levain…). Dans la fermentation alcoolique, les levures les transforment en alcool.

ACIDE PHYTIQUE Cette biomolécule présente dans les graines de céréales et de légumineuses diminue l'absorption de certains minéraux comme le fer, le magnésium et le zinc.

qui pourraient empêcher la fermentation. Nettoyez les ustensiles avec de l'eau savonneuse. Pour les produits laitiers, utiliser du lait cru plutôt que stérilisé ou UHT.

Une source de probiotiques naturels…

L'intérêt de la fermentation est de maintenir en vie les bonnes bactéries. Elle apporte donc des probiotiques naturels connus pour leur action bénéfique sur le système immunitaire et le microbiote intestinal. Un yaourt en contient ainsi environ un milliard, tout comme les légumes fermentés crus et certains fromages.
Une revue de la littérature scientifique sur les aliments fermentés dans la cuisine vietnamienne avec notamment le nuoc-mâm, souligne le rôle de ces micro-organismes dans de nombreux domaines : l'équilibre microbien du tube digestif, la lutte contre plusieurs germes dont la listériose et la salmonelle, leur activité antimycosique et même leur potentiel pour limiter la prolifération des cellules cancéreuses de la peau, du sein, de la prostate et du côlon (3).

… et de vitamines

Les aliments fermentés ont un bon profil nutritionnel : comparé au chou, la teneur en ascorbigène, un précurseur de la vitamine C, est augmentée dans la choucroute. Raison pour laquelle les marins en mangeaient pour se protéger du scorbut. Les yaourts, quant à eux, sont très riches en vitamines B. Les vitamines abondent aussi dans le tempeh, un produit à base de soja fermenté originaire d'Indonésie, qui contient aussi beaucoup de polyphénols, des micronutriments aux propriétés antioxydantes (4). Dans le pain au levain, la fermentation anéantit une partie de l'acide phytique, ce qui facilite l'assimilation du fer et du magnésium par l'organisme.

Des produits laitiers plus digestes

Sous l'effet de la fermentation, la concentration en lactose des produits laitiers chute, voire disparaît totalement dans certains fromages comme l'emmental, le camembert, le parmesan, le roquefort… Des chercheurs thaïlandais ont montré que la consommation de kéfir pourrait réduire les symptômes d'intolérance au lactose (5). Par ailleurs, l'efficacité des aliments fermentés est évoquée dans la prévention des diarrhées et de la constipation.

Une aide contre les maladies cardio-vasculaires

C'est du moins ce qu'a révélé une étude sur la consommation régulière de lait fermenté chez 26 000 personnes âgées de 44 à 74 ans suivies pendant douze ans (6). Enfin, des travaux sur le kimchi (légumes fermentés coréens) chez des patients prédiabétiques indiquent qu'il accroît la tolérance au glucose et atténue la résistance à l'insuline. Sur des personnes en surpoids ou obèses, il pourrait abaisser le cholestérol et la glycémie (7).

Attention cependant à ne pas en abuser

En Chine, un excès de cancers de l'œsophage a toutefois été observé chez de gros consommateurs de sauce de poisson. En Égypte, un fort taux d'histamine, une molécule pouvant entraîner des réactions allergiques et inflammatoires, a été retrouvé dans du poisson fermenté. Attention aussi au sel en cas d'hypertension artérielle. L'Organisation mondiale de la santé préconise de ne pas dépasser 5 g par jour, 100 g de légumes fermentés « maison » en apportent 1 g. ■ **Brigitte Bègue**

CLAUDE AUBERT Agronome et expert en nutrition*

En consommer un peu chaque jour

« Les aliments fermentés sont très utiles à la santé à condition de ne pas manger que ça. Il faut en consommer une petite quantité chaque jour en complément d'une alimentation équilibrée. Il n'y a pas d'aliments miracles. Toutefois, les produits fermentés comme les légumes méritent d'être mieux connus et je m'étonne que l'industrie agroalimentaire soit si peu inventive dans ce domaine. En Allemagne, les jus de choucroute et de concombre fermentés sont utilisés dans le traitement des gastro-entérites. Le mieux est de les fabriquer soi-même mais cela nécessite d'avoir du temps. À défaut, il vaut mieux les choisir et les préférer bio, par exemple pour la sauce soja. »

* Auteur des *Aliments aux mille vertus. Cuisiner les aliments fermentés*, éditions Terre vivante.

(1) Aliments fermentés, aliments santé, Gallimard, collection Alternatives, 2016.
(2) Food Fermentation: Netsanet Shiferaw Terefe, *CSIRO Food and Nutrition*, Australie, 2016.
(3) Health-promoting microbes in traditional Vietnamese fermented foods, Nguyen La Anh, *Food Science and Human Wellness*, 2015.
(4) Nutritional and antioxidant properties of tempeh flour from common bean, Reyes-Bastidas M et al, *Food Science &Technology International*, 2010.
(5) Properties and benefits of kefir — a review, S M John et al, *Songklanakarin Journal Science Technology*, Thaïlande, 2015.
(6) Dairy products and its association with incidence of cardiovascular disease: The Malmö diet and cancer cohort, PubMed 2011.
(7) Fermented kimchi reduces body weight and improves metabolic parameters in overweight and obese patients, Kim EK et al, Elsevier, 2011.

Le premier bébé à trois parents est né

L'embryon était porteur de trois ADN : celui de son père, celui de sa mère et celui d'une autre femme. L'opération vise à prévenir une maladie génétique d'origine maternelle.

C'EST UN FAIT INÉDIT dans la génétique humaine : le premier bébé ayant trois parents biologiques est né. Cela s'est passé au Mexique en avril, mais l'événement n'a été révélé que fin septembre. L'enfant a été conçu grâce à une technique consistant à implanter un embryon porteur de trois ADN : celui de son père, celui de sa mère et celui d'une autre femme. Elle a été conçue pour éviter la transmission d'une maladie génétique maternelle. Le bébé est ici le fils d'un couple de Jordaniens qui avait déjà donné naissance à deux filles, décédées respectivement à l'âge de 6 ans et de 8 mois. Elles étaient atteintes du syndrome de Leigh, une maladie neurologique d'origine mitochondriale, dont l'aggravation est progressive. Une des particularités des mitochondries, centrales énergétiques des cellules, est de posséder leur propre matériel génétique (ADN mitochondrial), dont la transmission est exclusivement maternelle.

Le couple a contacté John Zhang, spécialiste d'un centre de fertilité new-yorkais possédant une antenne au Mexique, pour réaliser la fécondation *in vitro*. Celle-ci a consisté à retirer le noyau d'un ovocyte de la mère atteinte de la mutation mitochondriale pour le transférer dans celui d'une femme saine dont on avait préalablement retiré le noyau. L'ovocyte manipulé renferme donc deux ADN (nucléaire et mitochondrial) provenant des deux femmes. Après fécondation de cet ovocyte bimaternel par le sperme du père, il en résulte un embryon renfermant trois ADN.

L'équipe de John Zhang a ensuite effectué au Mexique — la procédure étant interdite aux États-Unis — la réimplantation chez la mère d'un embryon à 3 ADN. Celui-ci a été choisi de sexe masculin afin d'éviter qu'il ne transmette à son tour la maladie à sa descendance.

Ce succès doit néanmoins appeler à la prudence. En juin, une équipe de chercheurs japonais et italiens rapportait des résultats montrant que la persistance d'une petite fraction de mitochondries porteuses de l'anomalie génétique peut compromettre l'efficacité de cette technique. Et on ne peut aujourd'hui éviter qu'une infime quantité de mitochondries de la mère, accolées au noyau de l'ovocyte transplanté, ne se retrouve dans l'ovocyte de la donneuse.

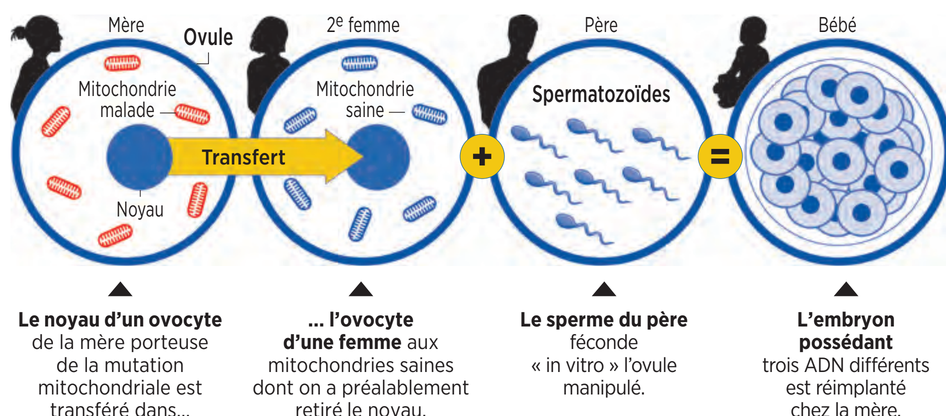
La sécurité de la technique reste à confirmer

Les données expérimentales montrent que la proportion d'ADN mitochondrial porteur de la mutation dans des cellules souches embryonnaires en culture peut alors passer de 1 % à 53 %, pour retomber à 1 % une vingtaine de semaines plus tard. Cependant, sans que les chercheurs en comprennent encore les raisons, l'expansion de cellules individuelles en laboratoire a montré que l'ADN mitochondrial porteur de la mutation délétère peut par la suite soit totalement disparaître, soit au contraire prendre le dessus, jusqu'à constituer 90 % de l'ADN mitochondrial total. Au vu de ces données obtenues sur des ovocytes humains, les chercheurs ne semblent donc pas encore disposer de toutes les garanties de sécurité. ■

Marc Gozlan
@MarcGozlan

REPRODUCTION

Une fécondation « in vitro » d'un nouveau type



Le noyau d'un ovocyte de la mère porteuse de la mutation mitochondriale est transféré dans…

… l'ovocyte d'une femme aux mitochondries saines dont on a préalablement retiré le noyau.

Le sperme du père féconde « in vitro » l'ovule manipulé.

L'embryon possédant trois ADN différents est réimplanté chez la mère.


LEMOINE BSIP

La forme sévère de l'acné toucherait environ 15 % des adolescents.

La revanche des acnéiques

L'épiderme des personnes ayant eu de l'acné durant l'adolescence résisterait mieux au vieillissement.

C'est une étude qui fera plaisir à tous ceux qui ont eu à subir les quolibets de leurs camarades d'école : les peaux maculées de boutons d'acné durant l'adolescence vieilliraient bien mieux que celles qui ont été épargnées ! Pour arriver à cette conclusion publiée dans le *Journal of Investigative Dermatology*, les chercheurs britanniques du Collège royal de Londres ont réalisé des biopsies de la peau de 1205 jumeaux, dont un quart ont subi de l'acné durant leur vie. Plus particulièrement, ils se sont intéressés aux extrémités des chromosomes des globules blancs, les télomères, considérés comme des marqueurs du vieillissement. En effet, à chaque division cellulaire, ils raccourcissent un peu plus ; plus une cellule vieillit, plus ses télomères chromosomiques sont réduits. Jusqu'au stade où ceux-ci deviennent tellement petits qu'ils conduisent à la mort de la cellule, et donc plus globalement à la sénescence de l'organisme.

Les dermatologues avaient déjà remarqué que l'épiderme des personnes acnéiques semblait moins subir les ravages du temps. Leur peau a moins de rides et a tendance à moins perdre en élasticité et en épaisseur avec l'âge. Cette impression est maintenant confortée par la génétique : l'étude britannique révèle que les télomères des globules blancs sont significativement plus longs chez les acnéiques. La production lipidique de leur peau, supérieure à la moyenne, les protégerait plus efficacement du vieillissement. Les chercheurs ont également examiné l'expression du gène P53 — la voie de signalisation qui régule la mort cellulaire programmée (ou apoptose) — : elle apparaît bien moins active chez les personnes acnéiques. L'étude demande néanmoins à être confirmée car elle est préliminaire en plusieurs points. Pour le moment, elle n'inclut que des femmes, et sur la base de simples déclarations concernant la gravité de leur acné passée. ■ **Hervé Ratel**

Livres
Santé

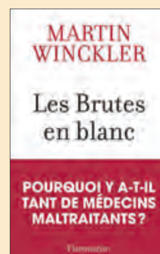
Les robots font-ils l'amour ?



Laurent Alexandre, Jean-Michel Besnier, Dunod, 144 p., 12,90 €

Lorsqu'on invite l'un pour parler du transhumanisme, on invite l'autre. Pile et face d'un débat polarisé. Aujourd'hui, réunis dans cet ouvrage, ils exposent leurs points de vue. Laurent Alexandre, le médecin entrepreneur « technoprophète », fait la démonstration que la révolution transhumaniste est inéluctable, sans jamais — habilement — la revendiquer. Tandis que le philosophe Jean-Michel Besnier tente d'éveiller les consciences pour protéger la nature humaine. Reproduction assistée, immortalité, cyborgs, intelligence artificielle... les grandes questions sont posées. Les arguments bien documentés fusent, émaillés d'encadrés éclairants, même si, en fait de débat, chacun joue sa partition. ■ **Elena Sender**

Les Brutes en blanc



Martin Winckler, Flammarion, 359 p., 16,90 €

« Se faire soigner, c'est recevoir des soins. Ce n'est pas se soumettre à la volonté de ceux qui les dispensent. » Une phrase forte qui résume le propos du dernier livre de l'auteur de *La Maladie de Sachs*. Un ouvrage essentiel au titre percutant qui traite de maltraitance médicale, cette réalité souvent sournoise entre discrimination, jugements de valeur, examens inutiles et prescriptions abusives. Une passionnante analyse de ce que devrait être la relation de soin. ■ **Sylvie Riou-Milliot**

La Mort de Mitali Dotto



Anirban Bose, Mercure de France, 330 p., 23,80 €

Médecin et écrivain à succès, l'auteur, qui a exercé aux États-Unis et vit aujourd'hui à Calcutta (Inde), n'avait jamais été traduit en France. C'est chose faite. Il se glisse dans la blouse de son héros, chirurgien à New Delhi, le Dr Neel Dev-Roy de retour en Inde après un long séjour aux États-Unis. Sa redécouverte du continent indien est cruelle, entre corruption et trafic d'organes. Palpitant roman où s'entremêlent jeux de pouvoir et d'argent, toujours au détriment des patients. ■ **S. R.-M.**

Mobilisation contre le cancer

La plateforme collaborative les Seintinelles regroupe 15 000 volontaires pour participer à des études sur le cancer. Rencontre avec Guillemette Jacob et Fabien Reyal, cofondateurs.



JULIEN PEBREL/MYOP POUR SCIENCES ET AVENIR

Fabien Reyal, chirurgien à l'Institut Curie (Paris), et Guillemette Jacob espèrent mobiliser jusqu'à 500 000 personnes.

Chercheurs et malades ont un objectif commun : vaincre le cancer. Pourtant, ils ne collaborent pas vraiment. *« Nous avons du mal à recruter des volontaires pour participer aux études »*, témoigne le Dr Fabien Reyal, chirurgien à l'Institut Curie (Paris). En 2010, quand le diagnostic de cancer du sein tombe, Guillemette Jacob n'a que 36 ans et elle *« ignore tout des problématiques des chercheurs »*. Le Dr Reyal lui parle d'Army of Women, une association américaine qui met en contact malades et chercheurs pour mieux étudier les causes du cancer, ça *« fait tilt »*. *« Je suis donneuse de sang, de moelle, d'organes et le cancer avait décuplé mon envie d'en découdre »*, déclare-t-elle.

À la fin de ses traitements, Guillemette fonde donc, avec Fabien et trois partenaires (1), Les Seintinelles, la première plateforme collaborative sur le cancer (2). En s'inscrivant sur le site, hommes ou femmes, malades ou pas, se déclarent volontaires pour participer à des études. Les médecins, à la recherche de profils particuliers, peuvent ensuite les solliciter. *« Certains de mes confrères doutaient que l'on puisse mobiliser des citoyens par le biais d'une plateforme Internet »*, reconnaît le Dr Reyal. *« Mais, créer et animer une communauté en ligne, ça, je sais faire »*, avoue Guillemette qui est directrice marketing chez Eurostar. Grâce à la presse, aux réseaux sociaux, au bouche-à-oreille, les Seintinelles recrutent. Une étude sur la littératie, c'est-à-dire la capacité d'une personne à utiliser l'information sur la santé pour prendre des décisions, a par exemple réuni ses 1750 volontaires en vingt-quatre heures. Un travail qui normalement aurait pris des mois.

Cependant, les Seintinelles ne constituent pas seulement une armée de volontaires mobilisables à tout moment. Guillemette et Fabien ont joué la carte « collaborative » à fond. *« Si vous voulez recruter des citoyens pour des projets de recherche, il faut aider ces deux communautés à parler le même langage »*, déclare Guillemette Jacob. Et la collaboration démarre dès la conception des études. Les questionnaires sont testés auprès des Seintinelles et les chercheurs sont parfois obligés de revoir leur copie. *« En outre, les volontaires ont développé des connaissances, dont ils n'ont pas forcément conscience et qui seraient très dures à recueillir pour les chercheurs sans cette mise en relation directe »*, précise le Dr Reyal. Aujourd'hui, 15 000 personnes ont répondu à l'appel. 60 % ne sont pas malades. Or, ce sont eux que les chercheurs ont le plus de mal à toucher. Mais tous ne sont pas sollicités. Alors, pour ne pas susciter de déception, Guillemette leur explique qu'*« "une seintinelle", ça monte la garde. C'est inutile pendant 1000 nuits et la 1001e, elle va sauver une vie ! »* À terme, le Dr Reyal espère mobiliser 500 000 hommes et femmes. Guillemette Jacob sourit : *« Ça me paraît fou ! »* Mais le Dr Reyal en est convaincu, *« les citoyens ont le pouvoir d'accélérer la recherche contre le cancer »*. ■ **Cécile Coumau**



SEINTINELLES

ÉTUDES

« Votre vécu nous intéresse »

Interroger 10 000 femmes sur l'impact du cancer sur leur vie professionnelle, c'est le tour de force réussi grâce aux Seintinelles. Cette étude, menée par des sociologues de l'Institut Gustave-Roussy (Villejuif), sera la plus grande jamais réalisée sur le sujet. En trois ans, l'association a déjà contribué à la concrétisation de plusieurs travaux de recherche. Quel est l'impact d'une reconstruction mammaire sur le couple ? Quel est le vécu des aidants ?... Et une étude sur la génétique doit bientôt débuter.

(1) L'Institut national du cancer, la fondation Arc et la marque de lingerie Chantelle.
(2) www.seintinelles.com

La petite reine met les watts

Le vélo à assistance électrique séduit de plus en plus d'adeptes pour les déplacements urbains ou les balades en VTT. La technologie des capteurs, des batteries ou encore du moteur a beaucoup progressé.

Par Olivier Hertel

La côte qui se dresse devant la roue du VTT est impressionnante. Hésitant, le cycliste s'élance, prêt à l'effort, et, à sa grande surprise, parvient à atteindre le sommet du massif du Beausset-Vieux qui surplombe Toulon (Var) avec une facilité déconcertante. Un exploit ? Pas vraiment. Le vélo est assisté par un moteur électrique positionné au niveau du pédalier. Avec cet équipement, tout le monde — ou presque — peut s'attaquer aux pistes les plus raides. Et pas seulement. Le vélo à assistance électrique (VAE) est aussi le roi du pavé. Il séduit de plus en plus d'urbains en mal d'escapades ou désireux d'abandonner la voiture pour se rendre au bureau sans forcément mouiller la chemise.



Un succès confirmé par les chiffres : *« En 2015 il s'est vendu 102 000 vélos électriques en France contre 77 000 en 2014 »*, assure Jérôme Valentin, président d'Union nationale de l'industrie du vélo (Univélo), le syndicat des acteurs français professionnels du cycle en France, et directeur général de Cycleurope Industries, qui fabrique et distribue les marques Peugeot et Gitane. Et la courbe n'est pas près de s'infléchir car sur 2,99 millions de vélos vendus en France chaque année, les VAE n'en représentent encore que 3 %. *« Nous pensons qu'il est possible d'atteindre les 15 à 20 %, soit environ 500 000 vélos électriques par an d'ici trois à quatre ans »*, estime Jérôme Valentin. Des projections soutenues par des équipements toujours plus performants pour ces deux-roues et encouragées par des politiques urbaines de plus en plus hostiles à la voiture.

OLIVIER HERTEL POUR SCIENCES ET AVENIR

◄ **Les moteurs en position centrale** et les capteurs intégrés permettent désormais de disposer d'une assistance instantanée.

De l'importance de la position du moteur

Le fonctionnement est simple : une batterie, fixée sur le cadre ou sur le porte-bagages, alimente un moteur électrique qui s'active lorsque le cycliste pédale. L'assistance se coupe au-delà d'une vitesse de 25 km/h pour les modèles classiques ou 45 km/h pour les modèles « *speed* » ou « *speed bike* », considérés par la réglementation comme des cyclomoteurs. Selon les modèles, les vélos à assistance électrique diffèrent cependant par leur mode de propulsion. *« Le moteur peut être placé dans les roues avant ou arrière ou en position centrale, c'est-à-dire dans le pédalier. La grande tendance est au moteur central. Il est plus efficace et permet une meilleure répartition des masses, vers le centre du cycle »*, indique Emmanuel Antonot, cofondateur de la jeune marque française Moustache Bikes. ►

DÉVELOPPEMENT

Le vélo à hydrogène encore bridé



PRAGMA INDUSTRIES SAS

Vendu 7500 €, le vélo de Pragma Industries nécessite pour l'instant une borne pour alimenter sa pile à combustible.

L'idée, apparemment insolite, n'est pourtant pas nouvelle. Il y a trois ans, Cycleurope, qui fabrique les marques Peugeot et Gitane, lançait le premier vélo à hydrogène en partenariat avec Pragma Industries, une société française basée à Biarritz (Pyrénées-Atlantiques). Le principe est le même que pour l'automobile : une pile à combustible combine de l'hydrogène avec l'oxygène de l'air pour produire de l'eau — rejetée dans l'atmosphère — et de l'électricité pour alimenter le moteur. *« Nous avions développé avec la société Bic un concept de cartouche d'hydrogène rechargeable ne pesant que 50 g pour une autonomie de 20 km. L'idée était de les vendre comme des briquets dans un bureau de tabac ou une grande surface »*, explique Jérôme Valentin, directeur général de Cycleurope. Las ! Bic ayant abandonné le projet, le concept est tombé à l'eau. Mais Cycleurope travaille toujours sur le vélo hydrogène pour le grand public. Quant à Pragma Industries, elle commercialise désormais des vélos à pile à combustible s'alimentant à une borne dédiée. Une centaine d'exemplaires devrait être vendus en 2017 à 7500 € pièce ; le vélo est cependant subventionné à hauteur de 50 % par la région Nouvelle-Aquitaine. *« Nous visons un prix de 4000 € pour une production de 10 000 vélos par an. Cela reste réservé aux flottes d'entreprises et collectivités car il faut une borne. Mais nous continuons à réfléchir à une solution semblable aux cartouches pour le grand public »*, explique le fondateur, Pierre Forté.

SOLUTIONS TECHNOLOGIQUES

Un concentré d'électrochimie, de mécanique et d'électronique

Batterie lithium-ion ▶
Les batteries actuelles au lithium-ion atteignent une réserve d'énergie de 400 à 500 Wh, de quoi parcourir jusqu'à 150 km. Elles sont toujours amovibles.



▲ Ordinateur de bord
Le compteur, véritable ordinateur de bord, affiche la vitesse, l'autonomie, la distance, et le mode d'assistance choisi par le cycliste. Il peut aussi servir de GPS sur les modèles les plus performants comme sur ce Peugeot.

▲ Moteur
Le moteur central est piloté par l'électronique qui reçoit les informations provenant des différents capteurs embarqués. Sur certains modèles, comme ici, la transmission se fait par courroie et non par chaîne.

PEUGEOT - BOSCH

Capteurs de forces, de rotation et de vitesse

Le signal permettant la mise en route du moteur provient de plusieurs capteurs positionnés différemment selon le modèle et le type de motorisation. Ainsi, si le moteur est dans la roue (avant ou arrière), c'est un capteur fixé sur le pédalier qui indique la mise en rotation des pédales grâce à une couronne à aimants. Ces derniers passent devant un détecteur fixé au cadre et relié au moteur. Un autre aimant, accroché sur un rayon de la roue arrière, passe devant un détecteur servant à mesurer la vitesse afin que le moteur soit coupé au-delà de 25 km/h.
Cette configuration, économique et simple, n'est cependant pas la plus efficace. Le moteur a en effet toujours un temps de retard puisqu'il ne s'enclenche qu'après avoir détecté le mouvement des aimants, ce qui peut prendre un tour complet de pédalier. Fâcheux lors d'un démarrage en côte... « *Pour une assistance immédiate, il faut un capteur de force capable de mesurer le moindre appui sur la pédale. C'est le cas quand le moteur est en position centrale. Il est alors équipé d'un capteur intégré mesurant 1000 fois par seconde la déformation du pédalier* », précise Thomas Meï, coordinateur technique chez Haibike, fabricant allemand de VTT haut de gamme. Il est couplé à un autre capteur de vitesse placé dans la roue arrière pour assurer la limitation à 25 km/h. « *Un capteur de rotation mesure également la fréquence de pédalage du cycliste à laquelle s'adapte aussi l'assistance* », explique Guillaume Heinrich, responsable marketing chez l'allemand Bosch, l'un des plus gros fabricants du marché avec le japonais Yamaha.

Une assistance sélective

L'aide apportée par le moteur se traduit sous forme de couple, une notion de mécanique mesurée en newton-mètre (Nm) qui correspond à l'effort que le moteur applique sur les pédales. Dans une côte, plus le couple est élevé plus le pédalage est facile. Ainsi, les VAE haut de gamme et sportifs sont le plus souvent équipés d'un moteur central développant un couple de 75 à 80 Nm maximum, celui-ci pouvant être modulé en fonction des besoins ou des efforts que le cycliste sou-

haite fournir. Pour ce faire, le vélo est équipé d'un petit ordinateur de bord fixé au guidon permettant de choisir plusieurs options d'assistance. Bosch propose par exemple quatre modes allant d'Éco (40 Nm), parfait pour la balade sur le plat, à Turbo (75 Nm) pour grimper les côtes les plus raides à 25 km/h. « *Selon le mode, l'assistance varie de 30 à 300 % de la force mesurée sur le pédalier* », précise Guillaume Heinrich. Un cycliste du dimanche sur un vélo électrique en mode Turbo peut dès lors coller aisément à la roue d'un champion tel que Vincenzo Nibali (vainqueur des tours de France, d'Italie et d'Espagne) dans l'ascension d'un col alpin.

Autonomie : le grand écart

Du choix des batteries dépend l'autonomie du vélo. Les plus récentes, d'une capacité de 400 à 500 wattheures (Wh), permettent de parcourir 40 à 150 km selon la vitesse, le mode d'assistance choisi, le poids du cycliste, le dénivelé, le sens et la vitesse du vent, la taille des pneus, la nature du revêtement, etc. Dans tous les cas, une charge complète de la batterie assure une journée de VTT avec de forts dénivelés ou une semaine de trajets urbains.

Une connectivité toujours plus grande

Les VAE séduisent aussi de nouveaux utilisateurs férus de technologies connectées. Piaggio, l'italien spécialiste du scooter, s'est récemment lancé sur le marché avec des modèles ultraconnectés comme l'Active Plus. Une application mobile (sous Android ou iOS) permet de définir un programme d'entraînement en sélectionnant le nombre de calories à brûler ou le seuil cardiaque à ne pas dépasser, de mémoriser les trajets réalisés, d'enregistrer les performances et de les partager sur les réseaux sociaux. En cas de tentative de vol, l'application alerte le propriétaire en lui envoyant un SMS. Il peut ainsi localiser l'engin et le suivre en temps réel grâce à la puce GPS intégrée.

Un moteur discret et léger

L'autre tendance consiste à intégrer les composants de manière à ce que le vélo électrique... ressemble à un vélo. Ainsi, en 2017, quasiment tous les fabricants proposeront des modèles dont la batterie sera plus ou moins dissimulée dans le cadre. Les moteurs tendent aussi à se faire discrets et légers : le dernier-né de Yamaha (PW-X) affiche un poids de 3,1 kg, soit 400 g de moins que son prédécesseur. Un gain non négligeable sur un VAE, qui pèse en moyenne de 8 à 10 kg de plus qu'un vélo conventionnel. Chez Haibike, la chasse aux kilos est même une obsession. « *Notre modèle Xduro Fullseven Carbon Ultimate ne pèse que 17,4 kg contre 10 à 12 kg pour l'équivalent non électrique. Le cadre, la tige de selle, le guidon, le pédalier et les jantes sont en carbone* », indique Thomas Meï. Une démonstration technologique qui a, bien sûr, un prix : 15 000 €.

Des coûts encore élevés

Le prix reste d'ailleurs le principal frein au développement du VAE. Quand un vélo de ville de qualité se vend autour de 500 €, il faut débourser environ 1000 € pour un vélo électrique d'entrée de gamme et 2000 € pour un VTT. Sans oublier l'usure des batteries. Les plus performantes (lithium-ion) sont prévues pour fonctionner cinq à six ans sans perdre trop d'autonomie, soit environ 35 000 km. Leur remplacement est coûteux : environ 800 €. Seul petit réconfort, de nombreuses villes subventionnent l'achat d'un vélo électrique, la prime allant de 150 € à 500 €. C'est peu, mais il n'y a pas de petites économies !

@Olivier Hertel

Notre sélection

HAIBIKE
XDURO Downhill Pro
Prix : 7999 € **Poids :** 25 kg



Ce VTT extrême est dédié à la descente des pistes les plus raides. Mais pourquoi mettre un moteur sur un vélo de descente ? Pour remonter, bien sûr.

75 Nm / 500 Wh

MOUSTACHE BIKES
Sand
Prix : 4599 € **Poids :** 23,8 kg



Avec ses pneus surdimensionnés, le Moustache Sand ne craint pas de s'enfoncer dans le sable lors de balades sur la plage. Il a été imaginé par le designer Philippe Starck.

75 Nm / 500 Wh

PIAGGIO
Active Plus
Prix : 3749 € **Poids :** 27 kg



Outre son design réussi, le Piaggio est avant tout une machine ultra-connectée. Relié au smartphone il envoie un SMS à son propriétaire en cas de tentative de vol. Et sa puce GPS intégrée permet de le suivre à la trace.

50 Nm / 418 Wh

GITANE
B21
Prix : 2999 € **Poids :** 23,4 kg



La grande tendance pour 2017 est à l'intégration des composants. En particulier la batterie, de plus en plus dissimulée dans le cadre, comme ici, dans le tube diagonal.

70 Nm / 418 Wh

WINORA
Radius Tour. Prix : 2499 €
Poids : 22,3 kg



Grâce à ses petites roues, il se faufile partout. Sa poignée est très pratique pour le porter. Enfin, son guidon se plie dans la longueur du vélo.

70 Nm / 400 Wh

L'impression photo retrouve des couleurs

À l'occasion du Salon de la photo de Paris (du 10 au 14 novembre), dont « Sciences et Avenir » est partenaire, le point sur les différentes technologies d'impression.

QUELLE EST LA DIFFÉRENCE entre un disque dur, un CD, un DVD, une clé USB… et une boîte à chaussures ? Aucune : tous ces supports peuvent contenir des photos. À une nuance — de taille — près. Les photos argentiques empilées jadis dans les cartons sont faciles à consulter à tout moment, alors qu'il est moins convivial de faire défiler les images sur un écran d'ordinateur ou de tablette devant sa famille ou ses amis réunis. Si toutefois, on peut encore les lire, beaucoup de formats de fichiers dans lesquels elles ont été enregistrées étant devenus rapidement obsolètes. D'où le nouvel engouement, de plus en plus marqué dans le grand public, pour… l'impression photo. Imprimantes personnelles, sites, réseaux sociaux… Plusieurs solutions sont disponibles.

Les imprimantes multifonctions

Basées sur la technologie jet d'encre, elles permettent aussi bien d'imprimer un texte sur une feuille A4 que de réaliser un tirage photo, pour peu qu'on leur fournisse un papier glacé de bonne qualité. La résolution annoncée est souvent impressionnante : 4800 ppp (points par pouce, ou DPI pour « *dot per inch* ») — voire davantage — contre 300 ppp pour un tirage « classique ». En d'autres termes, la tête de lecture peut théoriquement faire se jouxter parfaitement 4800 « points d'encre » sur une distance de 1 pouce. Mais en réalité, cette résolution n'a que peu de rapport avec la finesse des détails que présentera le tirage. En effet, les encres de ces imprimantes délivrent uniquement les couleurs de base (jaune, cyan, magenta, noir). Pour obtenir une teinte intermédiaire, un rose pale ou un gris par exemple, il faut laisser une certaine surface de papier — donc du blanc — autour de chaque point d'encre, ce qui réduit considérablement la finesse. En effet, chaque goutte d'encre déposée étant d'une seule de ces couleurs de base, il faut l'entourer d'une zone blanche pour que l'œil la perçoive dans une teinte plus claire. Ce procédé est identique à celui utilisé en imprimerie. Précisons cependant que certaines imprimantes, pour optimiser le rendu des teintes intermédiaires et des dégradés, font appel à des encres complémentaires tels que du cyan clair et du magenta clair.



Polyvalentes, les imprimantes dites multifonctions se basent sur une technologie jet d'encre. Elles impriment textes et photos jusqu'au format A4. Mais les tirages sont coûteux.



Dédiées au format 10 x 15 cm, les petites imprimantes à sublimation offrent d'excellents tirages pour un coût constant (environ 0,35 €). Elles exploitent directement le contenu d'un appareil photo, d'un smartphone…

Les imprimantes à jet d'encre sont en outre gourmandes en cartouches de rechange. Sans que l'on puisse estimer le nombre de tirages possibles avec un jeu puisque la quantité d'encre déposée est fonction des teintes à restituer : le blanc n'en consomme pas, les teintes foncées en consomment beaucoup. Ainsi, imprimer un paysage de neige sera moins coûteux qu'un soleil couchant. Enfin, les buses de la tête d'impression ont tendance à s'obstruer dès que la machine reste inutilisée quelques jours. Il faut alors pratiquer un « décrassage » particulièrement gourmand… en encre.

Les imprimantes dédiées

Elles exploitent la technologie de la sublimation thermique d'encres portées par un film sensible pour imprimer des clichés au format 10 x 15 cm. Un jeu d'éléments chauffants provoque le transfert depuis le rouleau vers le papier. La quantité d'encre transférée dépend de la quantité de chaleur appliquée. Ainsi, les teintes intermédiaires sont accessibles sans qu'il soit nécessaire de laisser une zone blanche autour de chaque point. Ces machines disposent d'une résolution réelle de 300 ppp, soit l'équivalent d'un

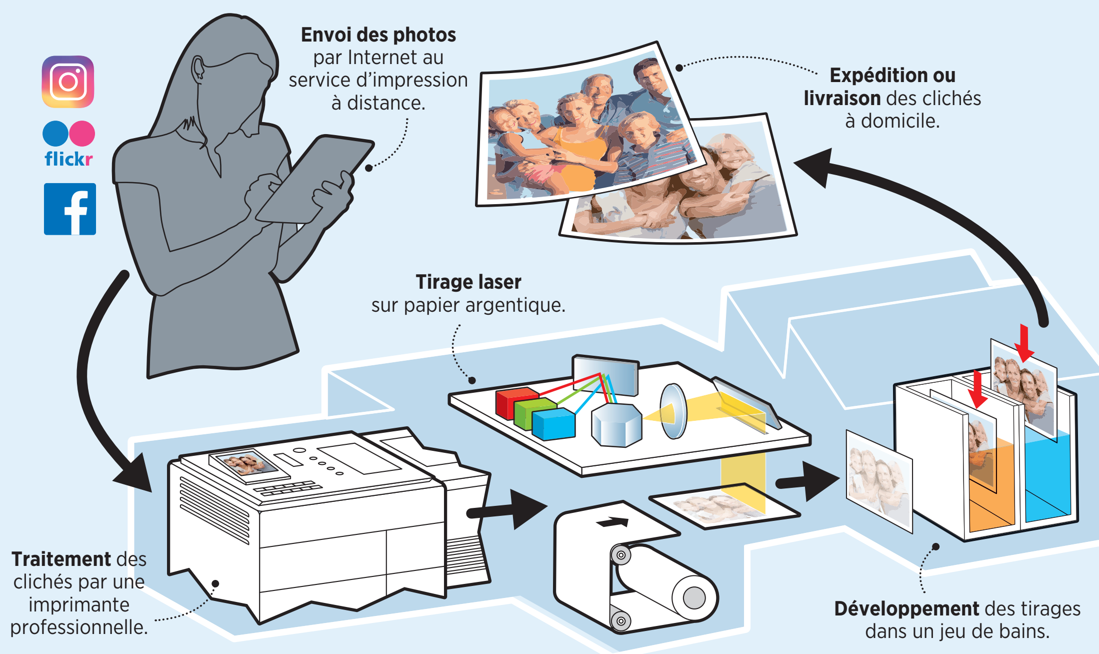
CONSERVATION

Les pigments remplacent les colorants chimiques

Pour éviter que les nuances des photos ne s'estompent avec le temps — comme c'était souvent le cas avec les premières imprimantes pour photos numériques —, les concepteurs d'encres ont remplacé les colorants chimiques par des pigments. En effet, ceux-ci n'interagissent pas avec le support sur lequel ils sont déposés. Issus de produits naturels ou de synthèse, ils sont beaucoup plus stables dans le temps. Les constructeurs n'hésitent plus à annoncer une conservation supérieure à une centaine d'années — pour une photo placée dans un sous-verre dans une pièce normalement éclairée — et 200 ans si l'image est gardée à l'abri de la lumière.

SERVICES

Le tirage en ligne s'ouvre aux réseaux sociaux



BRUNO BOURGEOIS POUR SCIENCES ET AVENIR

Le tirage en ligne se développe de plus en plus. Ici du papier photo argentique, donc conventionnel, est mis à contribution. Trois lasers (rouge, vert, bleu) viennent impressionner un papier argentique qui est ensuite développé de manière traditionnelle par un jeu de bains chimiques. Le rendu est identique à celui d'un tirage « traditionnel ». Lourdes à mettre en œuvre, ces installations équipent des magasins spécialisés ou sont accessibles en ligne. On peut ainsi facilement se connecter depuis son ordinateur sur de nombreux sites spécialisés en y ouvrant un compte personnel. Reste alors à choisir le format des tirages et à « uploader » (sélectionner) ses images. Enfin, il faut remplir les formulaires de paiement en ligne avant de recevoir les tirages dans un délai généralement compris entre 48 heures et une huitaine de jours. Mais les services proposés peuvent aussi être beaucoup plus complets avec notamment la confection d'albums. Pour cela, il est souvent nécessaire de télécharger une application proposant des mises en page que l'utilisateur peut tester avant de valider et commander. Enfin, des services s'adressant essentiellement aux possesseurs de smartphones se mettent en place pour obtenir des tirages... directement depuis les réseaux sociaux. Pour cela, de petites applications sont à installer sur le téléphone permettant de présélectionner les photos qui y sont stockées avant de les transférer depuis le réseau social, ce qui évite de faire « flamber » son forfait.

NOTRE SÉLECTION DE SITES

www.tiragesphoto.fnac.com
De nombreux formats proposés. Possibilité de réaliser des décorations murales à partir de vos clichés. Les tirages peuvent soit être retirés en magasin (frais de mise à disposition 2 €) ou livrés à domicile (frais de livraison 2,95 €).

www.vistaprint.fr
Vistaprint propose l'impression des clichés sur de très nombreux supports : calendriers, coques pour téléphone, vêtements, mugs, etc.

www.monalbumphoto.fr
Outre des tirages traditionnels, ce site propose la réalisation d'albums. Possibilité de se connecter directement depuis FaceBook, Flickr ou Instagram.

www.photoservice.com
Un grand classique du tirage photo. Propositions de livres photo, faire-part, toiles ou calendriers. Tirage direct depuis FaceBook.

tirage argentique conventionnel. Autre atout : le film thermosensible couvrant la totalité de la surface de tirage, la quantité d'encre consommée ne varie pas en fonction des teintes de la photo. Ce qui permet d'évaluer le coût d'un tirage (environ 35 centimes). Les constructeurs proposent des packs (papier + encre) permettant de réaliser un nombre donné de tirages.
Peu encombrantes, ces imprimantes peuvent exploiter directement les contenus d'une clé USB, d'une carte SD, ou micro SD de smartphone, voire en extraire les clichés en Wi-Fi ou même en Bluetooth. Revers de la médaille : une certaine lenteur, la technologie de sublimation thermique imposant une impression en quatre passes (une par couleur de base, plus la dépose d'une couche protectrice). Durant l'impression, le papier effectue donc quatre passages dans l'imprimante ce qui prend environ une minute pour chaque tirage. ■

Henri-Pierre Penel

Les objets connectés, maillon faible de la sécurité

L'hébergeur de site Web OVH révèle un nouveau type d'attaque informatique : près de 150 000 caméras connectées ont été piratées pour surcharger des serveurs en leur envoyant une masse anormale de requêtes.

Quelques tweets du fondateur d'OVH, Octave Klaba, ont révélé l'affaire. Fin septembre, l'un des plus gros hébergeurs français (plus d'un million de clients) a été victime d'une attaque informatique dite par déni de service, d'une ampleur sans précédent. Le principe n'en est pas nouveau. Il consiste à surcharger des serveurs en leur envoyant une masse anormale de requêtes simultanées de manière à ralentir, sinon bloquer, le service, en l'occurrence, l'accès à des sites et applications Internet hébergés par OVH. La nouveauté, c'est le volume : les paquets de requêtes ont allègrement atteint plusieurs centaines de gigabits par seconde (Gbit/s), voire le térabit, alors que l'attaque la plus importante jusque-là se montait à 400 Gbit ! Du jamais vu.

Une méthode qui n'est pas inédite

Pour y arriver, le ou les pirates ont créé un « botnet » de caméras de surveillance connectées : ils les ont d'abord piratées puis en ont pris le contrôle pour les mettre en réseau et les connecter aux serveurs d'OVH comme l'auraient fait des ordinateurs. Là encore, la méthode n'est pas inédite, elle avait été pointée du doigt dès mars 2014 par les chercheurs en sécurité informatique de la société américaine Incapsula. En juin, la société bosniaque Sucuri débusquait un botnet de plus de 25 000 caméras réparties un peu partout dans le monde. Mais dans le cas d'OVH, l'opération implique… 145 607 caméras ! L'affaire révèle en fait le problème plus large posé par l'Internet des objets. *« Les objets connectés sont moins sécurisés que des serveurs mais aussi que des ordinateurs personnels, dotés au moins d'antivirus »*, explique Frédéric Braibant, consultant chez Nomios. Or, ce marché est en plein essor et les objets (montres, capteurs, détecteurs, frigos) deviennent une porte d'entrée sur le réseau des particuliers. *« Cela devient beaucoup plus intéressant de pirater par les objets connectés que par les ordinateurs. »* ■ **Arnaud Devillard**



Montres, capteurs, détecteurs… ne possèdent pas d'antivirus à l'inverse des ordinateurs.

D. ALLARD/REA

Livres/DVD
High-tech



Stefan Palk, éditions Philippe Rey, 336 p., 19 €

Cognitum

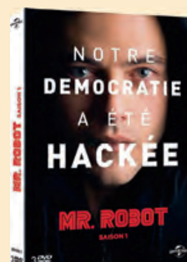
Vous en avez cauchemardé, il l'a écrit. L'auteur de ce thriller palpitant a trempé sa plume dans de terrifiantes anticipations, mêlant neurosciences, biotechnologies et réalité virtuelle avec les plans de djihadistes sanguinaires. L'enquête démarre avec la mort d'une adepte de jeux sexuels en ligne, et la piste mène à un projet transhumaniste d'implants sur des milliers de cerveaux, manipulables en réseau. Et à un scientifique découvreur du cocktail synthétique de la colère. Résultat sidérant : des humains à qui l'on peut injecter… la haine. ■ **Andreina De Bei**



Linda Liukas, Glénat Jeunesse, 112 p., 14,90 €

Hello Ruby
À la découverte du codage

Il ne s'agit pas d'un manuel, ni d'un précis technique, encore moins d'un livre scolaire, et cette lecture n'enseigne aucun code de programmation. En prenant pour fil rouge une énigme posée par un père à sa fille Ruby, cet ouvrage illustré, écrit par une informaticienne, inculque plutôt subtilement l'art de traiter un problème, d'être méthodique et de le décomposer, sans qu'il soit jamais question d'informatique. C'est original et très ludique. ■ **A. D.**



Sam Esmail, Universal Pictures, 450 min (3 DVD), 25 €

DVD

Mr Robot, saison 1

Révélation de l'année 2015, *Mr Robot* suit Elliot, jeune hacker parti à l'assaut du réseau informatique d'un conglomérat géant pour effacer la dette des consommateurs américains. Réaliste et assez sombre, peuplé de personnages perturbés, cette série met le piratage de tout et de tous au centre de son histoire, tant notre quotidien est devenu dépendant de l'informatique et d'Internet. Un quotidien qui fait de nous des coquilles vides… ■ **A. D.**

12 conseils anti-fatigue

L'automne et l'hiver sont longs pour nos organismes parfois fragiles. Et surtout pour le moral ! Afin d'éviter les coups de fatigue, pensez avant tout à prendre soin de vous. Ce qui ne va pas toujours de soi...

RÉDACTION EN CHEF :
Caroline Brun, Agence Forum News
RÉDACTION :
Émilie Gillet et Anne Prigent

Vive la lumière !

1 Dans notre corps, l'horloge interne — appelée rythme circadien — donne le tempo à de nombreux phénomènes tels que la sécrétion d'hormones, la régulation de la température, le fonctionnement de la mémoire, et bien sûr l'alternance des phases d'éveil et de sommeil. Pour que cette horloge garde le rythme, elle se resynchronise régulièrement grâce à la lumière naturelle qui stimule cette production. Chaque jour, il est donc important de s'exposer quelques dizaines de minutes à la lumière du soleil, même de façon indirecte (c'est-à-dire même à l'ombre ou derrière une vitre). C'est particulièrement utile le matin, pour faciliter le réveil, ou lorsque l'on souffre de décalage horaire après un long voyage. ■ **É. G.**

Savoir se détendre

Respecter son corps et les rythmes biologiques, se faire aider par diverses techniques de relaxation, et consommer avec modération des dopants naturels... oui, on peut lutter contre le stress !

Les méthodes douces à la rescousse

2 En Europe, un travailleur sur cinq se plaint de problèmes de santé liés à du stress au travail : la nervosité et la fatigue mais aussi la dépression sont les signes cliniques le plus souvent décrits. Pour limiter ces effets délétères, nous pouvons faire appel à différentes techniques de relaxation comme des exercices de respiration, la sophrologie, le yoga... Plusieurs études ont notamment démontré l'intérêt du yoga pour détendre les étudiants avant leurs examens, ou encore les musiciens avant un concert. La méditation de pleine conscience a également fait ses preuves : il s'agit moins d'une méthode de relaxation que de la recherche d'une meilleure prise de conscience de soi dans son environnement, et d'une prise de recul sur ses expériences intimes (*lire p. 44*). Même si elle n'a pas fait l'objet d'études randomisées en double aveugle pour établir son efficacité, l'acupuncture, une branche de la médecine chinoise qui travaille sur la circulation supposée des énergies, peut également se révéler une arme antistress car, comme dans la plupart des médecines complémentaires, l'interaction entre le thérapeute et le patient fait partie du soin. Si toutes ces techniques se révèlent insuffisantes, il est aussi possible de faire appel aux propriétés de certaines plantes comme l'aubépine ou l'escholtzia (lire *Sciences et Avenir* n° 833, juillet 2016). ■ **A. P.**

Débrancher du boulot

3 En France, 12,6 % de la population active serait menacée par le « burn-out » (syndrome d'épuisement professionnel), soit plus de trois millions d'actifs, selon un sondage réalisé en 2013 par le cabinet Technologia. Le risque serait même particulièrement élevé chez les agriculteurs (24 %), devant les artisans, commerçants et chefs d'entreprise (20 %) et les cadres (19 %). L'irruption des nouvelles technologies qui abolit la frontière entre vie professionnelle et privée augmente le risque : plus de 70 % des cadres consultent leurs e-mails le soir et en vacances, selon une enquête menée par le cabinet Deloitte en 2015. Déconnecter et s'obliger à prendre du temps pour soi et ses proches est indispensable. La nouvelle loi travail (El Khomry) a d'ailleurs instauré un « droit à la déconnexion »... ■ **A. P.**

4 « La sieste, utile en mer comme à terre »

STÉPHANE LE DIRAISON, SKIPPER ENGAGÉ SUR LE VENDÉE GLOBE



FREDERIC PRAT / TEAM STÉPHANE LE DIRAISON

Le 6 novembre, vous prenez le départ pour ce tour du monde en solitaire et sans escale sur votre bateau* La Compagnie du Lit - Boulogne-Billancourt. *Comment vous êtes-vous préparé quant au sommeil ?
Après plusieurs années de courses en mer, je connais bien mes besoins en sommeil ! Pour cette épreuve particulière qui dure trois mois, j'ai fait appel à un médecin spécialiste. Il a d'abord analysé mon sommeil à terre, puis nous avons travaillé ensemble pour réduire et fractionner mon temps de repos. En parallèle, un préparateur mental m'a aidé à développer des techniques d'endormissement rapide, basées sur la respiration et les images mentales : par exemple, je pense à des vagues qui montent et descendent sur le sable, et je cale ma respiration dessus.

Et la gestion du stress ?
Là aussi en travaillant sur la respiration, et l'ancrage positif lié à une posture : il s'agit d'associer une position particulière — pour moi c'est assis avec les mains posées sur les cuisses — à un moment de détente physique et mentale. En mer, je vais aussi essayer de faire 10-15 minutes de méditation chaque jour.

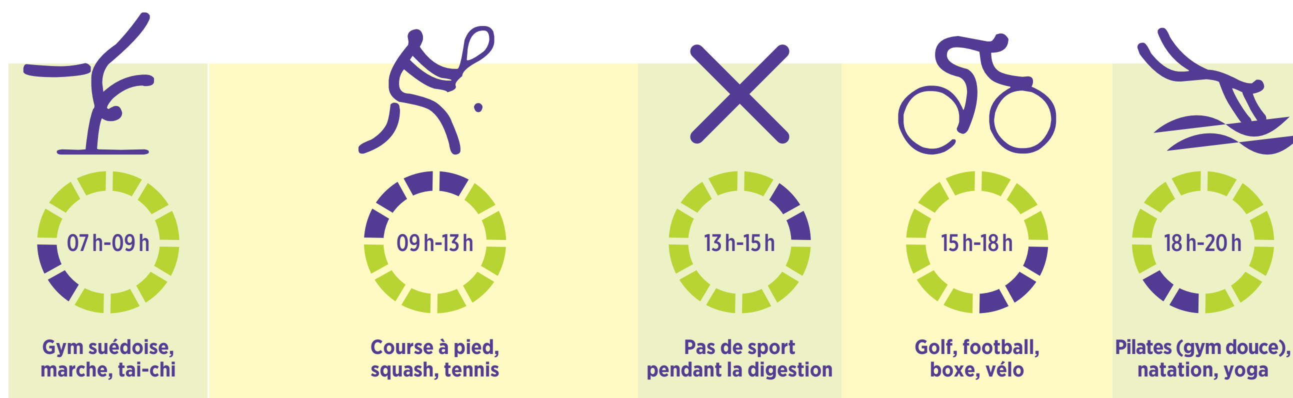
Quel rôle joue l'alimentation ?
Le sommeil est fractionné, donc l'alimentation aussi : en 24 h, je prends trois repas et trois collations. Cela réduit le risque de somnolence liée à la digestion de repas trop importants. La nuit, pour limiter le coup de fatigue, je privilégie les protéines. Le matin, les sucres lents, pour tenir toute la journée, et avant une grosse manœuvre, des sucres rapides pour le coup de *boost* ! Et pour ça, je préfère les fruits frais (pommes et agrumes), même si ce n'est pas toujours évident à stocker sur un bateau. Par ailleurs, je ne bois ni café ni thé, car comme tout excitant, ils provoquent une baisse de vigilance après coup.

Une bonne habitude prise en mer que vous conservez à terre ?
La sieste bien sûr ! Avec une sieste de 10 à 15 minutes, je gagne facilement un cycle de sommeil nocturne de 1 h 30.

■ **Propos recueillis par É. G.**

Pratiquer une activité physique adaptée à chaque heure

5 Les sports les plus explosifs se pratiquent plutôt le matin, et l'on réservera la fin de journée à des pratiques plus douces, afin de ne pas perturber les rythmes de sommeil. Si l'objectif est de perdre du poids, privilégiez le sport le matin, après un petit déjeuner léger. Si l'on souhaite plutôt améliorer ses performances, la fin d'après-midi est le meilleur créneau.



Se nourrir sainement

L'alimentation joue un rôle primordial pour lutter contre la fatigue. Une nourriture équilibrée est indispensable pour apporter les nutriments qui permettent de rester en forme.



Les fruits, même s'ils sont riches en sucres, contiennent des vitamines indispensables à l'organisme.

RÉMY CORTIN

Les aliments coups de pouce

6 Certains aliments nous apportent un supplément d'énergie, parfois nécessaire. D'autres sont à proscrire pour éviter les coups de pompe intempestifs.

Café, thé : nos psychostimulants

La caféine est sans aucun doute le psychostimulant le plus consommé dans le monde, principalement sous forme de café. Mais on la trouve dans de nombreux autres aliments comme le thé, le cola, les boissons énergisantes ou le chocolat. La dose nécessaire pour donner un petit « coup de fouet » varie selon les individus. Elle est généralement comprise entre 200 et 300 mg de caféine par jour. Soit l'équivalent de deux à trois tasses de café filtre ou de cinq à six expressos, 5 thés ou 200 grammes de chocolat noir. Au-delà, le risque d'effets négatifs comme la nervosité, l'anxiété, l'agressivité ou l'insomnie, augmente.

Compléments alimentaires

Les 15 % de Français et 28 % de Françaises qui consomment des compléments alimentaires le font en priorité pour lutter contre la fatigue... or, cet apport en vitamine C et autre magnésium n'a démontré aucune efficacité chez des consommateurs ayant une alimentation variée. En revanche, certains apports sont nécessaires à des types bien ciblés de population : par exemple le fer chez les femmes ayant des règles abondantes ou les personnes suivant un régime végétalien.

Les aliments à éviter

Pour éviter les coups de mou intempestifs de la journée, mieux vaut bannir tout ce qui est sucré (sauf les fruits). En effet, les aliments à indice glycémique élevé vont entraîner un pic d'insuline destiné à réguler le taux de sucre dans le sang. S'ensuit une chute de la glycémie qui procure une sensation de fatigue. ■ **A. P.**

Du bon usage de la mélatonine

Professeur Yvan Touitou, chronobiologiste, membre de l'Académie de médecine, ancien président de l'Académie de pharmacie.

7 « La mélatonine est une hormone sécrétée par la glande pinéale (située dans le cerveau) préférentiellement la nuit, selon un rythme circadien — alternance veille / sommeil pendant 24 heures. Une de ses nombreuses propriétés pharmacologiques est la diminution de la température corporelle, ce qui facilite le sommeil — elle raccourcit le temps d'endormissement (la « latence ») de 15 à 20 minutes. Une autre propriété est qu'elle retarde la phase des rythmes circadiens lorsqu'elle est administrée le matin alors qu'elle l'avance si on en prend en fin d'après-midi (elle permet donc de dormir malgré un décalage horaire qui tient naturellement éveillé).
La lumière a des effets opposés sur la phase des rythmes : avance de phase le matin, retard de phase en soirée, et inhibition de l'hormone la nuit. D'où l'utilisation, parfois combinée, de mélatonine et de lumière dans les désynchronisations de l'horloge interne comme dans certains troubles du sommeil.
En France, un médicament dosé à 2 mg de mélatonine est indiqué dans les perturbations du sommeil des sujets âgés de plus de 55 ans. La mélatonine étant un médicament, il est impératif que son utilisation soit suivie et contrôlée par un médecin ». ■ **A. P.**

À NE PAS OUBLIER



Le cassis. Encore mieux que les cures de jus d'orange pour lutter contre les infections. La petite baie astringente contient 200 mg de vitamine C pour 100 grammes. Agrémentée d'un zeste de citron, elle n'en sera que plus énergisante.

CHASSENET / BSIP / AFP



Le boudin noir. Plat traditionnel un peu tombé en désuétude, il est pourtant l'un des aliments les plus riches en fer (22,8 mg pour 100 grammes). Or les apports recommandés en fer sont de 9 mg/jour chez l'homme et de 16 mg/j chez la femme non ménopausée.

STUDIO X / AFP



Mollusques et crustacés. Très peu caloriques, ils contiennent fer et magnésium et sont donc particulièrement intéressants pour lutter contre la fatigue. Mais les personnes souffrant d'insuffisance cardiaque doivent les proscrire en raison de leur haute teneur en sel.

CHASSENET / BSIP / AFP

Dormir sereinement

Nous consacrons un tiers de notre vie au sommeil. Il est essentiel à la récupération physique, mais aussi au bon fonctionnement de notre système immunitaire ou de notre mémoire. Encore faut-il passer de bonnes nuits.

Comme on fait son lit, on se couche

8 La qualité du sommeil peut être influencée par de nombreux éléments extérieurs comme la température, le bruit, l'état de la literie… Mieux vaut mettre toutes les chances de son côté.

La fenêtre Double-vitrage et volets diminuent nuisances sonores et pollution lumineuse.

La couette À chacun la sienne, de préférence en matière naturelle, c'est plus confortable !

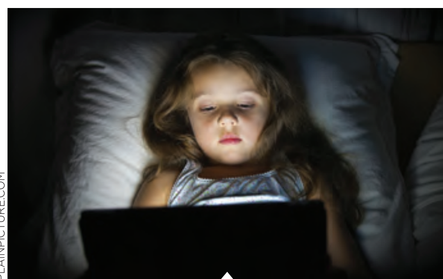
La lampe de chevet Une lumière tamisée prépare au sommeil.

Chauffage Température idéale : 18-20 °C

Le sommier Chaque nuit on perd en moyenne 40 cl d'eau, le sommier permet d'aérer le matelas.

Un matelas S'il fait 160 cm de large, c'est 15 % de sommeil profond en plus que dans un matelas de 140 cm !

BRUNO BOURGEOIS POUR SCIENCES ET AVENIR



PLAINPICTURE.COM

Les écrans retardent l'endormissement et perturbent nos cycles de sommeil. Particulièrement délétères pour les ados, voire les plus jeunes.

Déconnecter

9 Les diodes électroluminescentes (LED) présentes dans les écrans de smartphones, tablettes et ordinateurs émettent une quantité très importante de lumière bleue. Or celle-ci active les récepteurs photosensibles non visuels de la rétine cent fois plus que la lumière blanche d'une lampe. Conséquence : cette lumière bleue retarde notre horloge biologique et perturbe endormissement et cycles de sommeil. Si vous ne pouvez pas vous empêcher de consulter vos e-mails au lit, mieux vaut donc utiliser la fonction *night shift* de votre smartphone (disponible sur certains modèles ou par des applications) qui a pour effet de réduire cette lumière bleue en « jaunissant » l'écran. Et si vous lisez des e-books, privilégiez les liseuses avec une technologie de type papier électronique qui, selon une étude américaine, sont les seules à n'avoir aucun retentissement sur le sommeil. ■ **É. G.**

Des méthodes douces pour nuit calme

10 La France consomme encore trop de médicaments à visée hypnotiques (environ 40 millions de boîtes par an !). Or, avant de prendre un somnifère, d'autres solutions plus douces sont à tester pour mieux dormir. À chacun de choisir celle qui permet de trouver un sommeil réparateur.

Les règles hygiéno-diététiques

Il suffit parfois de suivre quelques règles pour passer de meilleures nuits : adopter un horaire régulier de lever et de coucher, renoncer aux siestes trop longues (plus d'une heure) ou tardives, bannir les repas trop copieux le soir mais aussi diminuer la caféine, la nicotine et l'alcool, pratiquer une activité sportive avant 17 heures, éviter l'exposition tardive aux lumières bleues *(lire page 124)*.

Les thérapies cognitivo-comportementales

Le principe des thérapies cognitivo-comportementales (TCC) consiste à induire un changement des habitudes liées au sommeil. Elles nécessitent de faire appel à un professionnel formé mais ne sont pas remboursées par l'assurance maladie, bien que recommandées par la Haute Autorité de santé.

La phytothérapie

La nature recèle une véritable armoire à pharmacie utilisée depuis des siècles pour lutter contre les troubles du sommeil. Camomille, passiflore, escholtzia, ballote, mélisse... de nombreuses plantes ont des effets bénéfiques sur le sommeil. La plupart peuvent être consommées en infusion, seules ou en association. Les formes sèches présentent un avantage pour les insomniaques : elles ne nécessitent pas d'avaler de grandes quantités de liquides avant de dormir avec le risque de provoquer des réveils nocturnes.

Le biofeedback

Le biofeedback s'inscrit généralement à l'intérieur d'un traitement plus global, comme une thérapie comportementale. Cette méthode, durant laquelle la personne se concentre sur les signaux auditifs ou visuels transmis par le moniteur à partir de capteurs fixés sur la tête, fait partie des techniques recommandées par la Haute Autorité de santé, au même titre que la relaxation musculaire chez les personnes souffrant d'insomnie chronique. ■ **A. P.**

Des applis qui scrutent votre sommeil



◀ Sleep Better

▲ Mon Coach Sommeil

◀ iSommeil

11 **Plusieurs applications permettent de déterminer la qualité de votre sommeil (mouvements, ronflements, insomnies...), la longueur de vos cycles, et de les confronter à des conseils de spécialistes. Certaines accompagnent même les phases d'endormissement et de réveil. Il suffit de poser votre smartphone près de l'oreiller, en ayant pris soin d'enclencher le mode « avion » !**

iSommeil (gratuite, sur iTunes et Android)
Créée par les spécialistes du Centre du sommeil de l'hôpital Hôtel-Dieu de Paris.

Mon Coach Sommeil (gratuite, sur iTunes et Android)
Créée par le Réseau Morphée (réseau de santé consacré à la prise en charge des troubles du sommeil).

Sleep Better (version de base gratuite + achats intégrés, sur iTunes et Android)
Créée par Runtastic, entreprise spécialisée dans les applis sport et santé. ■ **É. G.**

Somnolence dans la journée : que faire ?

12 Vous dormez 7 à 8 heures par nuit, dans de bonnes conditions et pourtant, au réveil vous vous sentez fatigué ou souffrez de somnolence pendant la journée ? Certaines maladies infectieuses peuvent être à l'origine d'une fatigue transitoire : la mononucléose par exemple, fréquente chez les adolescents.

Un signal d'alerte

Des pathologies chroniques peuvent aussi être incriminées : l'émergence d'un diabète de type 2, la maladie cœliaque, une insuffisance thyroïdienne ou des maladies neurologiques telles que Parkinson ou la sclérose en plaques. Dans ce cas, la fatigue vient souvent avant les premiers symptômes caractéristiques de la maladie, et peut donc servir de signal d'alerte pour en parler avec son médecin.

Syndrome de fatigue chronique

Enfin, certaines personnes souffrent d'un syndrome de fatigue chronique : cette maladie reconnue par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) est aussi appelée syndrome de l'intolérance à l'effort. Elle se définit par une fatigue permanente dont le début peut être daté, qui s'accentue à l'effort et s'accompagne de douleurs articulaires et musculaires diffuses. Il y a quelques années, le virus XMRV a été mis en cause, mais cette piste a depuis été réfutée. Il n'existe ni test de diagnostic ni traitement spécifique. ■ **É. G.**



VOUS DORMEZ MAL ?

ET SI C'ÉTAIT LE STRESS !

Surcharge de travail, course contre la montre pour concilier vie de maman et vie professionnelle, période d'examens, embouteillages quotidiens... nous avons tous 1000 raisons d'être stressé. Et quand le stress prend trop de place dans notre vie, le signal d'alerte est le même pour tous : notre sommeil est perturbé et nos nuits ne sont plus assez réparatrices. Il devient alors urgent de lutter contre l'excès de stress.

L'homéopathie pour soulager les symptômes de notre stress.

L'homéopathie est une thérapeutique respectueuse de notre corps. Agir contre un excès de stress avec un traitement homéopathique, c'est faire le choix de réguler son état nerveux sans risques d'éventuelles pertes de mémoire ou de concentration.
Et sans non plus provoquer d'accoutumance ou de somnolence dans la journée.

Sédatif PC pour retrouver notre équilibre.

Grâce à sa formule spécifique, Sédatif PC agit sur les symptômes de l'excès de stress. La journée, il atténue les manifestations nerveuses et physiques dues au stress. Et en limitant énervement, irritabilité et anxiété légère le jour, Sédatif PC nous aide à mieux dormir la nuit. Résultat : on se réveille mieux reposé, donc moins stressé. C'est cette intelligence d'action qui fait que Sédatif PC nous aide à mieux retrouver notre équilibre.



sans accoutumance
sans somnolence

Sédatif PC, réduisez votre stress tout au long de la journée pour mieux dormir la nuit.

- 2 comprimés à sucer 3 fois par jour.
  Pour les enfants de moins de six ans : faire dissoudre le comprimé dans de l'eau avant la prise, en raison du risque de fausse route.
- Sans somnolence dans la journée.
- Sans accoutumance.
- Compatible avec d'autres traitements en cours.
- Si les symptômes persistent ou s'aggravent après 7 jours, consultez un médecin.

MÉDICAMENT HOMÉOPATHIQUE
Vendu en pharmacie, sans ordonnance.



Pour en savoir plus sur le stress, retrouvez nos vidéos pédagogiques sur http://www.boiron.fr/Dossiers-sante/Le-stress ou flashez ce code.

0 810 809 810 Service 0,05 € / min + prix appel

Sédatif PC, médicament homéopathique traditionnellement utilisé dans les états anxieux mineurs et émotifs, les troubles mineurs du sommeil, aux 6 substances actives. Chez l'enfant, un trouble du sommeil nécessite de consulter votre médecin. Enfant de moins de 6 ans : faire dissoudre le comprimé dans de l'eau avant la prise, en raison du risque de fausse route. Demandez conseil à votre pharmacien. Lire attentivement la notice. Si les symptômes persistent après 7 jours, consultez votre médecin. Visa 16/03/68829541/GP/004.



www.boiron.fr

Donald Trump

★ **ESPACE.** S'en remettre de préférence aux initiatives du privé

★ **OGM.** Priorité au libre-échange, au péril de la traçabilité

★ **CHANGEMENT CLIMATIQUE.** Aucune responsabilité humaine

★ **SANTÉ PUBLIQUE.** Les coûts doivent être minimisés

★ **ENSEIGNEMENT.** Des programmes scolaires... sans Darwin ni Big Bang



Hillary Clinton

★ **ESPACE.** Soutenir l'exploration spatiale en finançant la Nasa

★ **OGM.** Utiles pour lutter contre la faim dans le monde, mais la prudence s'impose

★ **CHANGEMENT CLIMATIQUE.** Réduire les gaz à effet de serre de 30 % d'ici à 2025

★ **SANTÉ PUBLIQUE.** Un engagement fort en faveur de la recherche médicale

★ **ENSEIGNEMENT.** Apprendre aux enfants le codage informatique

Le candidat du parti républicain et celle du parti démocrate divergent sur tous les points en matière de science et technique.

Quelles sont les positions scientifiques des candidats à la Maison-Blanche ?

CONTEXTE. Donald Trump ou Hillary Clinton ? Le 8 novembre, le vote des électeurs américains aura une influence décisive sur les grands choix scientifiques du pays.

L'ORGANISATION AMÉRICAINE à but non lucratif ScienceDebate a décidé de se focaliser sur les sciences dans les débats qui rythment la course à la Maison Blanche. Elle a posé aux principaux candidats 20 questions scientifiques clivantes. Revue des divergences en 5 points.

L'EXPLORATION SPATIALE Dans son enfance, la candidate démocrate Hillary Clinton, 68 ans, se rêvait astronaute. Aujourd'hui, elle défend la conquête spatiale et insiste sur l'importance pour l'État américain de financer les recherches de la Nasa, en particulier les programmes d'exploration de Mars. Le candidat républicain Donald Trump, 70 ans, affirme, lui, voir dans les programmes spatiaux l'occasion d'intéresser les jeunes à la science... tout en déclarant que le pays *« avait de plus gros problèmes à résoudre »*. Il préfère ainsi que l'État soutienne les initiatives du secteur privé (comme SpaceX, *lire p.* 57).

LES OGM La candidate démocrate n'a pas encore pris publiquement position au sujet de l'ingénierie du vivant. Elle a toutefois affirmé que les OGM pouvaient être utiles pour lutter contre la faim dans le monde, à condition d'avoir fait l'objet d'études scientifiques sérieuses pour prouver leur innocuité. Donald Trump est également resté silencieux sur ce point. Mais le parti républicain s'est toujours opposé à l'étiquetage obligatoire des aliments génétiquement modifiés.

LE CHANGEMENT CLIMATIQUE Hillary Clinton a qualifié *« d'étape historique »* l'accord de Paris sur le climat, et s'est fixé un objectif ambitieux dans la réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) du pays : 30 % d'ici à 2025 (par rapport à 2005), puis 80 % d'ici à 2050. Une position opposée à celle de Donald Trump qui nie

REA-SIPA

la responsabilité humaine dans le changement climatique. Il a menacé, s'il était élu, de se retirer de l'accord de Paris issu de la COP21 et de lever le moratoire qui interdit l'exploitation de nouvelles mines de charbon aux États-Unis.

LA SANTÉ PUBLIQUE Hillary Clinton soutient la recherche médicale : lutte contre la maladie d'Alzheimer, le cancer, le virus Zika…, tous feront l'objet de programmes spécifiques. Elle évoque aussi la création d'un fonds spécifique permettant de répondre plus rapidement aux crises sanitaires majeures. Pour Donald Trump, les dépenses de santé publique doivent être modérées, mais il s'est peu exprimé sur des actions concrètes. Sa position est également ambiguë sur la vaccination de masse, puisqu'il a affirmé qu'elle pouvait provoquer l'autisme chez les enfants… avant de faire volte-face. Le candidat républicain a enfin déclaré que les femmes ayant recours à l'avortement « *devaient être punies* » avant que son colistier Mike Pence ne revienne sur cette déclaration.

L'ENSEIGNEMENT SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE La candidate démocrate est une fervente partisane de l'éducation scientifique et technique, et insiste notamment sur les débouchés de l'informatique. Donald Trump a d'ores et déjà affirmé que le républicain Ben Carson, un neurochirurgien à la retraite, serait en charge des questions d'éducation en cas d'élection. Farouchement créationniste, ce dernier a écrit un livre pour réfuter la théorie de l'évolution. Il a également qualifié le Big Bang de « ridicule ». ■ **Sarah Sermondadaz**

@datisdaz

LE MOT DU MOIS

Justice climatique

C'est une première en France : ce terme a été mis en avant dans un rapport du Conseil économique, social et environnemental (CESE). L'idée : du fait de leur pouvoir d'achat plus élevé, les catégories sociales les plus riches émettent plus de gaz à effet de serre que les plus pauvres. Une situation d'autant plus injuste que ces derniers sont plus exposés aux effets du changement climatique. Ce concept d'origine onusienne concerne autant les couches sociales d'un même pays que les différences de développement au niveau mondial. Pour réduire cette fracture, le CESE propose des actions possibles pour la France. Ainsi, les mesures de lutte (financement de l'isolation des logements, par exemple) seraient prises en priorité au bénéfice des classes les plus modestes. Le Conseil plaide également pour un partage des coûts entre collectivités riches et pauvres. Enfin, il propose que l'État modifie en profondeur les règles d'évaluation socio-économique de ses projets d'infrastructures. En l'état actuel, le calcul de la valeur d'un aménagement favorise le bénéfice immédiat au détriment des impacts lointains pouvant affecter le bien-être des générations futures. ■ **Loïc Chauveau**

Qu'est-ce que la messagerie Telegram ?

CONTEXTE. Une centaine de millions de personnes utiliseraient aujourd'hui ce service de messagerie. Des terroristes de Daech aux politiques français.


SIPA

Les messages échangés grâce à l'appli peuvent être chiffrés.

Relativement peu connu, le service de messagerie Telegram est devenu l'outil favori des terroristes de Daech. Notamment parce que les autorités de tous pays ont bien du mal à percer les communications instantanées (messages, photos, vidéos) transportées par ce service. D'abord pour des raisons juridiques : Telegram appartient à un enchevêtrement savamment orchestré de sociétés et filiales réparties dans plusieurs pays, qui transforme en casse-tête les démarches de tout gouvernement désireux d'avoir accès aux serveurs. Et c'est le but ! Les créateurs de l'application, les frères russes Nikolai et Pavel Dourov, ont en effet lancé Telegram en août 2013, justement pour soustraire les utilisateurs à toute curiosité étatique et policière, en particulier celle du pouvoir de Vladimir Poutine : Pavel Dourov avait refusé de lui livrer des données à l'époque où il dirigeait un autre service de communication, le réseau social Vkontakte. Les deux frères ont depuis quitté la Russie et le siège de Telegram se situe à Berlin.
Autre obstacle : la sécurisation des échanges. Telegram permet à la fois les communications de personne à personne et les messages groupés envoyés sur des canaux regroupant plusieurs milliers d'abonnés. Une option de « chat secret » offre en outre d'échanger des messages éphémères sans les archiver sur les ordinateurs des utilisateurs ou les serveurs de Telegram. Surtout, ces échanges sont chiffrés en suivant un processus nébuleux. Les algorithmes sont développés par une quinzaine de personnes et reposent sur un protocole maison appelé MTProto, alors que les programmes concurrents (WhatsApp) utilisent des standards communs et connus. Les frères Dourov sont tellement sûrs de l'inviolabilité de leur application qu'ils promettent 300 000 dollars à qui parviendra à déchiffrer les communications. Un dispositif qui laisse cependant perplexes les experts en sécurité car, en matière de chiffrage, il est plus prudent d'utiliser des standards connus, donc éprouvés et suivis. D'ailleurs, la sécurité du système a déjà été prise en défaut : un consultant de chez Sony Mobile Communications a démontré qu'il était possible, par le biais de quelques manipulations logicielles, de savoir qui se connectait à l'appli et qui étaient ses correspondants. ■ **Arnaud Devillard**

LES PURIFICATEURS D'AIR

Par Henri-Pierre Penel

Mieux respirer chez soi

Si rien ne remplace l'aération régulière, des appareils peuvent aider à assainir l'air intérieur du logement. À condition de bien choisir le système de filtration.

Allergies, asthme, rhume des foins, irritation des yeux… La pollution de l'air extérieur, mais aussi intérieur, est responsable de maux considérés comme de graves problèmes de santé publique. L'Observatoire de la qualité de l'air intérieur (OQAI) estime ainsi que ce type de pollution coûte à la collectivité entre 10 et 40 milliards d'euros par an, dont 1 milliard uniquement en achat de médicaments anti-asthmatiques. Si les règlements officiels se multiplient, les consommateurs se reportent sur des purificateurs censés leur assurer un air de meilleure qualité.

Pourquoi s'équiper ?

L'air des habitations peut se révéler, selon l'Organisation mondiale de la santé, 10 à 30 fois plus pollué que l'air extérieur. Cette pollution est essentiellement due aux acariens et aux spores mais aussi aux COV (composés organiques volatiles) présents dans beaucoup de matériaux de construction ou de peintures, sans négliger ceux provenant d'huiles essentielles qui, contrairement à une idée reçue, n'améliorent en rien la qualité de l'air. Si aérer régulièrement son habitation est indispensable et contribue à faire fortement chuter le taux de pollution, cette opération n'est pas toujours suffisante, celui-ci remontant rapidement à peine les fenêtres refermées. Les purificateurs d'air ont donc pour mission de « capturer » les différents composants dès leur apparition.

Comment fonctionnent-ils ?

Plusieurs systèmes coexistent sur le marché. Le plus répandu, et aussi l'un des plus efficaces, consiste à brasser l'air de la pièce au moyen d'un ventilateur. L'air traverse ainsi un jeu de filtres aux mailles suffisamment fines pour retenir les plus petites particules.

Autre technique : les ioniseurs qui en appliquant une très haute tension à un jeu de pointes métalliques provoquent l'ionisation de l'air. En théorie, les impuretés viennent s'agglutiner autour des ions négatifs qu'ils dégagent, formant des agglomérats plus lourds censés tomber au sol. Cependant, leur efficacité est assez controversée, d'autant que ces appareils ont rapidement tendance à dégager de l'ozone, un gaz connu pour provoquer des irritations des voies respiratoires. Une autre filière exploite la catalyse associée à un rayonnement ultraviolet, procédé qui s'adresse essentiellement aux industriels.

Enfin, la jeune société française Air-Serenity travaille sur un procédé prometteur, fondé sur l'utilisation de plasma froid dont les prototypes ont montré l'efficacité : une étincelle, produite de manière très brève entre deux électrodes, crée un plasma qui vient « briser » les particules, le résidu cette opération étant capté par un catalyseur. Mais ce type d'appareil ne devrait pas faire son apparition sur le marché avant fin 2017.



BERNARD MARTINEZ POUR SCIENCES ET AVENIR

Qu'est-ce qu'un filtre HEPA ou THE ?

De nombreux filtres affichent la certification HEPA (High Efficiency Particulate Air) — en français THE (très haute efficacité) — répondant à des critères de filtration. La plupart sont généralement de qualité H13, capables de retenir au moins 99,97 % des particules d'un diamètre supérieur à 0,3 micromètre (soit 0,003 mm) contenues par le flux d'air qui les traverse. Ils capturent ainsi efficacement les pollens, les bactéries ou même les particules fines y compris celles de la fumée de cigarette. En revanche, pour retenir les COV, qui sont des gaz, il faut les recombiner avec les molécules de carbone contenues dans un filtre au charbon actif qui vient compléter le système. Or, ce filtre n'est pas systématiquement présent sur les équipements d'entrée de gamme.

Quels volumes traitent-ils ?

Chaque constructeur précise la surface pour laquelle son appareil est conçu. En moyenne, celle-ci va de 20 à 50 m² pour une hauteur de plafond standard, de 2,50 m.

Consomment-ils beaucoup d'électricité ?

La consommation électrique d'un purificateur d'air à filtre est celle d'un ventilateur. Conçu pour fonctionner en permanence, il dispose le plus souvent de plusieurs régimes, les plus soutenus servant à « démarrer la filtration », les plus faibles à assurer le maintien de la qualité de l'air. Dans ce dernier mode, la puissance mise en jeu est modeste, souvent moins d'une dizaine de watts, et une cinquantaine en régime soutenu.

Sont-ils bruyants ?

Le niveau de bruit oscille entre une vingtaine et une soixantaine de décibels selon le mode utilisé, soit l'équivalent du bruissement du vent dans les feuilles d'un arbre en mode maintien de la qualité de l'air au bruit d'un lave-vaisselle en mode démarrage de la filtration.

APPLIS

Doit-on opter pour un modèle connecté ?

Associer une application au purificateur permet de mémoriser les mesures de l'air, d'en dresser un historique, voire de suivre son évolution heure par heure. Cette fonction permet ainsi de vérifier que la puissance de l'appareil est adaptée à la pièce à traiter en visualisant la baisse effective du taux de pollution. Dans certains cas, un capteur annexe mesure simultanément la pollution extérieure permettant de vérifier le gain apporté par le dispositif. Enfin, l'application transforme aussi le smartphone, ou la tablette, en super-télécommande. Il est ainsi possible de programmer le purificateur pour éviter qu'il ne travaille inutilement en l'absence de tout occupant ou, inversement, de le mettre en service avant l'arrivée de la famille pour offrir une qualité d'air satisfaisante dès le retour au domicile.

Comment est évaluée la qualité de l'air intérieur ?

De nombreux modèles sont équipés de capteurs qui mesurent en permanence la qualité de l'air, en fonction des différents agents polluants *(voir l'infographie ci-dessous)*. L'appareil exploite automatiquement ces données pour ajuster son mode de fonctionnement en contrôlant la vitesse de rotation de son ventilateur. Sur la plupart des modèles, un indicateur précise la qualité globale de l'air.

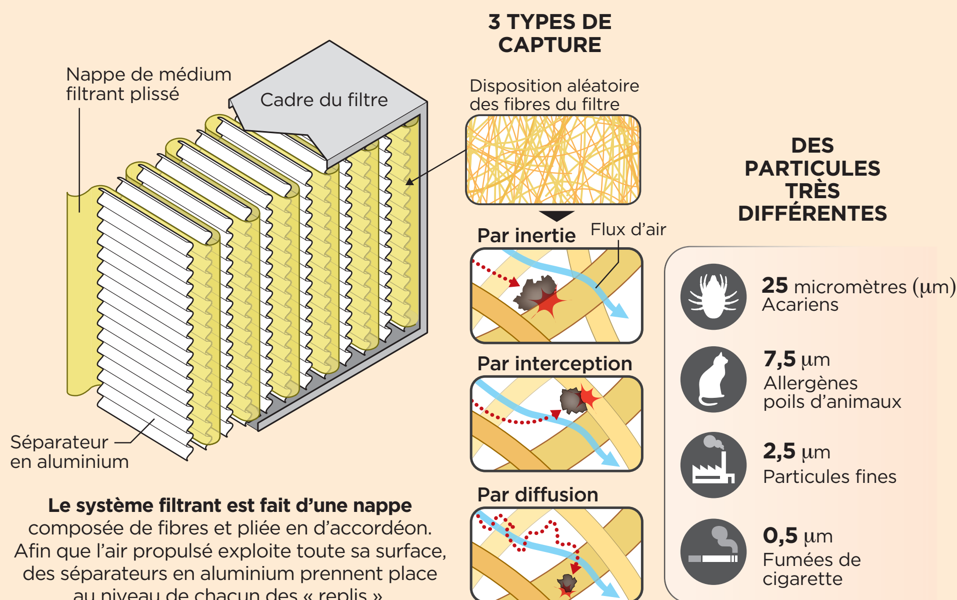
Faut-il souvent changer les filtres ?

Tout dépend du niveau de pollution du local traité et de son volume. Le « préfiltre » chargé de retenir les éléments les plus gros (poils d'animaux, poussières) doit être nettoyé régulièrement. Les filtres HPA et au charbon actif doivent être changés tous les un à trois ans (coût : environ 60 €). Sur la plupart des appareils, un voyant indique la saturation. ■

Banc d'essai pages suivantes ▶

Le filtre HEPA, piège à particules

Le cœur d'un purificateur d'air repose sur un filtre qui retient les particules. Pour les composés gazeux, un filtre de charbon actif complète son action.

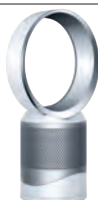


Le système filtrant est fait d'une nappe composée de fibres et pliée en d'accordéon. Afin que l'air propulsé exploite toute sa surface, des séparateurs en aluminium prennent place au niveau de chacun des « replis ».

BRUNO BOURGEOIS POUR SCIENCES ET AVENIR

LES PURIFICATEURS D'AIR

			
MARQUE ET MODÈLE	**Beurer** LR200	**Rowenta** Intense Pure Air Bedroom PU4020FO	**Beurer** LR330
Prix indicatif	**170 €**	**270 €**	**320 €**
Type de filtre	Préfiltre, filtre charbon actif, filtre HEPA	Préfiltre, filtre charbon actif, filtre HEPA, filtre nanocapture	Préfiltre, filtre charbon actif, filtre HEPA
Débit d'air maximum	3 niveaux de ventilation	Jusqu'à 170 m³/h	Jusqu'à 200 m³/h
Niveau de bruit	Mode nuit silencieux (niveau de bruit non précisé)	45 dB (25 dB en mode nuit)	49 dB
Puissance	50 W	30 W	60 W
Télécommande	Non	Non	Non
Application associée	Non	Non	Non
Surface de pièce conseillée	Jusqu'à 15 m²	Jusqu'à 35 m²	Jusqu'à 35 m²
Dimensions/poids	175 x 273 x 300 mm / 3,2 kg	300 x 285 x 540 mm / 5,5 kg	370 x 260 x 362 mm / 6,7 kg
Les plus	Prix, faible encombrement	Silencieux en mode nuit, capteur de pollution et ajustement automatique du débit d'air	Trois niveaux de programmation du taux d'humidité
L'avis de SCIENCES ET AVENIR	Un petit purificateur d'air conçu pour un usage dans une chambre. L'éclairage de son panneau de commande diminue d'intensité dans la pénombre.	Le filtre est capable de retenir les formaldéhydes, un solvant courant dans les peintures et les matériaux de construction. Il change de couleur à l'approche de sa saturation.	Pour contrer les atmosphères sèches, ce modèle assure la fonction d'humidificateur. Trois niveaux proposent une hygrométrie comprise entre 40 % et 80 %.

			
MARQUE ET MODÈLE	**Dyson** Pure Cool Link Desk	**Philips** AC4072-11	**Philips** AC3256-10
Prix indicatif	**499 €**	**499 €**	**519 €**
Type de filtre	Préfiltre, filtre charbon actif, filtre HEPA	Préfiltre, filtre multicouche VitaShield actif, filtre HEPA	Préfiltre, filtre multicouche VitaShield actif, filtre HEPA
Débit d'air maximum	Jusqu'à 1200 m³/h	Jusqu'à 236 m³/h	Jusqu'à 367 m³/h
Niveau de bruit	59 dB (non précisé en mode nuit)	63 dB (34 dB en mode nuit)	62 dB (32,5 dB en mode nuit)
Puissance	40 W	47 W	60 W
Télécommande	Oui	Non	Non
Application	Oui	Non	Non
Surface de pièce conseillée	Jusqu'à 13 m² (pour un filtrage total de l'air en 30 minutes)	Jusqu'à 60 m²	Jusqu'à 95 m²
Dimensions/poids	616 x 355 x 104 mm / 4,6 kg	200 x 355 x 640 mm / 7,2 kg	366 x 251 x 698 mm / 9,6 kg
Les plus	Appareil connecté, monitoring de la qualité de l'air, fonction ventilateur à fort débit d'air	Filtrage du formaldéhyde, capteur de pollution et ajustement automatique du débit d'air	Filtrage du formaldéhyde, capteur de pollution et ajustement automatique du débit d'air
L'avis de SCIENCES ET AVENIR	L'application Dyson Link, compatible Android et iOS, propose un suivi en temps réel de l'état de la qualité de l'air.	La fonction « Power Boost » maintient le ventilateur à un régime élevé pour lutter rapidement contre la pollution, puis un capteur ajuste en permanence son régime selon la qualité de l'air.	Ce purificateur est destiné aux espaces les plus vastes. Un mode est plus particulièrement destiné à l'élimination des allergènes.





Philips HU5930-10	**Rowenta I**ntense Pure Air XL PU6020FO
349 €	**370 €**
Préfiltre, filtre HEPA NanoProtect	Préfiltre, filtre charbon actif, filtre HEPA, filtre nano capture
Jusqu'à 140 m³/h	Jusqu'à 345 m³/h
53 dB (32 dB en mode nuit)	52 dB (28 dB en mode nuit)
11 W	80 W
Non	Non
Non	Non
Jusqu'à 70 m²	Jusqu'à 80 m²
460 x 446 x 275 mm / 8,8 kg	380 x 315 x 750 mm / 7,5 kg
Fonction humidificateur, faible consommation électrique	Filtrage du formaldéhyde, silencieux en mode nuit, mesure du niveau de pollution et ajustement automatique du débit
Le filtre NanoProtect, spécifique à Philips, est capable de retenir jusqu'à 99 % des bactéries ainsi que les particules polluantes à partir de 0,02 µm.	Un modèle aux fonctionnalités identiques à celles du PU4020FO, mais destiné aux pièces de surface plus importante. Un appareil à placer dans un vaste salon, par exemple.





Dyson Pure Cool Link Tower	**Dyson** Pure Hot+Cool Link
579 €	**599 €**
Préfiltre, filtre charbon actif, filtre HEPA	Préfiltre, filtre charbon actif, filtre HEPA
Jusqu'à 1490 m³/h	Jusqu'à 735 m³/h
63 dB (non précisé en mode nuit)	64 dB (non précisé en mode nuit)
56 W	2100 W (mode chauffage), 44 W (ventilation)
Oui	Oui
Oui	Oui
Jusqu'à 17 m² (pour un filtrage total de l'air en 30 minutes)	Jusqu'à 16 m² (pour un filtrage total de l'air en 30 minutes)
1018 x 190 x 110 mm / 3,8 kg	630 x 152 x 111 mm / 3,8 kg
Appareil connecté, monitoring de la qualité de l'air, fonction ventilateur à fort débit d'air	Appareil connecté, monitoring de la qualité de l'air, fonction ventilateur et chauffage à fort débit d'air
Grâce à la technologie Air Multiplier, ce modèle fait fonction de ventilateur en été. Connecté, il offre les fonctionnalités du Pure Cool Link Desk.	Dyson a ajouté à son dernier-né la fonction chauffage. Il est ainsi aussi utile en été qu'en hiver. Un point qui explique sa consommation maximale élevée.



Parrot / Mambo

Drôle de drone

Mambo, le nouveau minidrone de Parrot, met à l'épreuve la dextérité de son pilote par le biais de nouveaux accessoires : il peut ainsi transporter de petits objets grâce à sa pince motorisée ou détruire une cible avec son mini-canon à billes. De nouveaux défis à relever.

119 €

Netatmo / Vanne connectée

Radiateurs intelligents



Pour que les radiateurs de chauffage central traditionnels (à eau) puissent, eux aussi, être connectés, Netatmo propose des vannes (robinets) connectées. La température de chaque pièce peut ainsi être réglée avec un smartphone.

69,99 € (pièce + kit de démarrage 179,99 €)

Rifft / CT Band

Un bracelet qui connecte toutes les montres



Le bracelet moniteur d'activité CT Band de la start-up française Rifft s'adapte à la plupart des cadrans de montres traditionnelles : inutile donc de se séparer de son modèle préféré pour bénéficier de ses services (rythme cardiaque, nombre de pas, taux d'ultraviolets, etc.).

149 €

LE CIEL DE NOVEMBRE

Par Johan Kieken

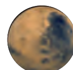
Où sont les planètes ?



MERCURE La petite planète n'est pas visible ce mois-ci, totalement noyée dans l'éclat du couchant.



VÉNUS Visible en soirée vers le sud-ouest, l'étincelante étoile du Berger gagne chaque jour de la hauteur alors que le ciel s'obscurcit. Ainsi, elle se couche 1 h 40 après le Soleil le 1er, mais passe sous l'horizon près de 3 h après lui le 30.



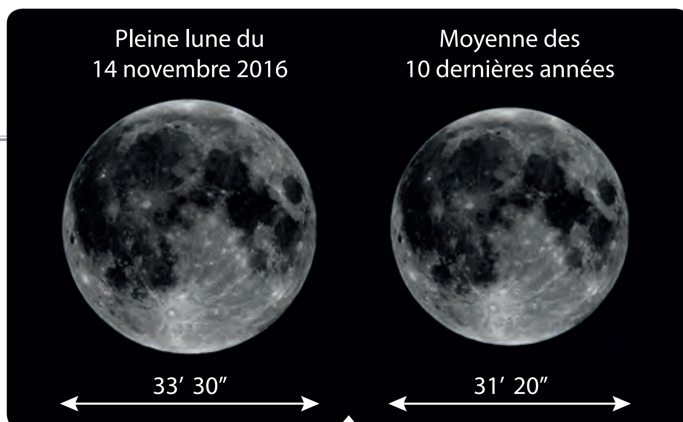
MARS La planète Rouge quitte la constellation du Sagittaire le 8 et passe le reste du mois dans le Capricorne. Il convient de chercher Mars en soirée assez bas vers le sud, avant qu'elle ne décline rapidement vers l'horizon sud-ouest.



JUPITER La plus grosse des planètes, située dans la grande constellation de la Vierge, devient bien observable en fin de nuit et au petit matin vers l'est puis vers le sud-est. Très brillante, elle se lève de plus en plus tôt. À titre d'exemple, une heure avant le lever de l'astre du jour, on trouve Jupiter à une quinzaine de degrés de hauteur en début de mois. En fin de mois, elle sera deux fois plus haute dans le ciel au même instant.



SATURNE La planète aux anneaux n'est timidement visible qu'en première quinzaine en soirée, avant d'être rattrapée par les lueurs du crépuscule. Nous la retrouverons le matin pour le passage à la nouvelle année.



La pleine Lune du 14 novembre comparée à la moyenne des pleines Lunes sur les dix dernières années. Un degré vaut 60 minutes (60′).

Une pleine Lune d'exception le 14

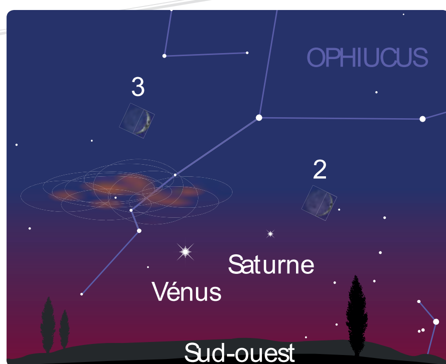
LA LUNE DÉCRIT AUTOUR DE LA TERRE une orbite elliptique perturbée par le Soleil. Lorsque le grand axe de l'ellipse pointe vers lui, comme en cette mi-novembre l'excentricité de l'orbite lunaire atteint un maximum : la distance minimale Terre-Lune est plus petite que d'habitude. Ajoutons à cela que la pleine Lune du 14 prendra place à 15, soit 3 h seulement après le passage de notre satellite au plus près de la Terre, et nous aurons toutes les conditions pour qu'une pleine Lune, plus grande que la normale se produise.

Notre conseil Pour trouver trace d'un événement lunaire équivalent dans notre ciel, il faut remonter au 26 janvier 1948… ou attendre le 25 novembre 2034.

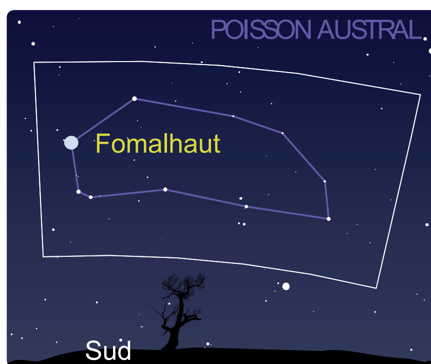
L'appli du mois



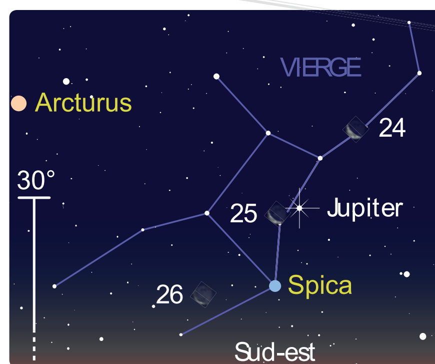
EARTH NOW est une application gratuite en anglais développée par la Nasa. Disponible sur App Store et Google Play, elle permet de visualiser en direct des données d'intérêt météorologique et climatique envoyées par les satellites spécialisés dans l'étude de notre planète, comme la température de l'air ou la teneur atmosphérique en dioxyde de carbone.



LES 2 ET 3, LE FIN CROISSANT LUNAIRE SALUE VÉNUS ET SATURNE. Un joli rapprochement à immortaliser à moins d'une dizaine de degrés de hauteur, 45 min après le coucher du Soleil.



LA CONSTELLATION DU POISSON AUSTRAL SERAIT TOUT À FAIT INSIGNIFIANTE si elle n'hébergeait une étoile de première grandeur, Fomalhaut. Nous sommes en milieu de mois, vers 20 h.



LE 25, LE CROISSANT DE LUNE PASSE PRÈS DE JUPITER. Spica, l'étoile principale de la Vierge, observe la scène à quelques degrés de là. Il est ici 1 h avant le lever du Soleil.

◀ **Carte du ciel** visible à la mi-novembre vers 19 h.

La Lune



Premier quartier : lundi 7 à 21 h (La Lune se trouve alors dans la constellation du Verseau)



Pleine Lune : lundi 14 à 15 h (Taureau)



Dernier quartier : lundi 21 à 10 h (Lion)



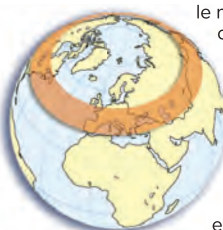
Nouvelle Lune : mardi 29 à 13 h (Ophiucus)

Le Soleil

(à Paris)	Lever	Coucher
1er novembre	7 h 38	17 h 30
30 novembre	8 h 22	16 h 57

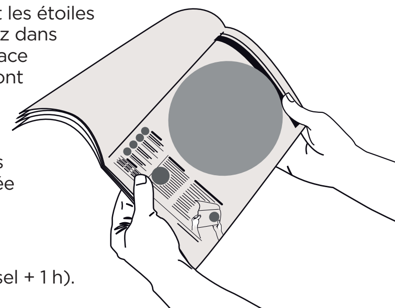
D'où voir le ciel

Notre carte tracée pour une latitude de 47° nord montre le ciel visible en France métropolitaine, et plus largement en Europe et dans le monde, à l'intérieur d'une bande s'étendant de 40 à 54° de latitude nord. Si vous êtes au nord du 47e parallèle, l'étoile Polaire sera plus haute dans votre ciel et plus basse dans le cas contraire.



Comment utiliser cette carte

Faites tourner votre magazine sur lui-même, de façon à ce que le nom de la direction dans laquelle vous observez soit écrit à l'endroit. Les constellations et les étoiles que vous retrouverez dans le ciel qui vous fait face sont toutes celles dont le nom est lisible sans trop pencher la tête. La position des planètes visibles à l'œil nu est indiquée pour le 15 du mois.



Les heures sont données en heure légale française (temps universel + 1 h).

EXPOSITIONS

Bordeaux (33)

Les momies ne mentent jamais...
Les nouvelles techniques d'investigation des scientifiques pour interpréter les momies et en déduire des informations sur les modes de vie des sociétés anciennes.
Cap sciences, hangar 20, 20, quai de Bacalan, jusqu'au 5 mars 2017. Rens. : 05.56.01.07.07.

Le Bourget (93)

Verdun. La guerre aérienne
La bataille de Verdun a marqué les véritables débuts de la guerre aérienne. Un fait peu connu raconté avec des objets, des documents, et le premier avion de chasse français produit en masse, le Nieuport XI « Bébé ».
Musée de l'Air et de l'Espace, jusqu'au 29 janvier 2017. Rens. : 01.49.92.70.00.

Louveciennes (78)

La vie retrouvée à Marly et Versailles
De la pipe en terre aux éléments de rocaillage des fontaines, environ 200 objets mis au jour ces vingt-cinq dernières années lors de fouilles archéologiques, réalisées sur les domaines de Versailles, Trianon et Marly.
Musée Promenade, parc de Marly, jusqu'au 5 février 2017. Rens. : 01.39.69.06.26.


MNHN

Un mur d'art regroupe différentes représentations pariétales d'ours préhistoriques.

Paris (75) / Exposition

Espèces d'ours !

Vénéré, craint, diabolisé, réhabilité et néanmoins menacé. L'ours est à l'honneur au Muséum national d'histoire naturelle de Paris : une grande exposition en lien avec le muséum de Toulouse propose de partir à la découverte des huit espèces de la planète. Et offre l'occasion inédite d'admirer des spécimens célèbres : l'ours blanc rapporté d'Arctique par le duc Philippe d'Orléans, ou le grand panda ramené de Chine par le père David... Qui est l'ours, d'où vient-il, quels rites et cultes lui a-t-on voués, quelle histoire a-t-il partagée avec les hommes ? Et quel sera son avenir, compte tenu de la dégradation constante de son habitat ? Ces questions s'articulent dans des univers distincts. Le premier propose un spectaculaire face-à-face avec les animaux naturalisés : grand panda, ours à collier, malais, lippu, brun, blanc, noir et à lunettes. Autour, défilent à l'écran les images de plantigrades évoluant dans leur milieu, et un film retrace la première année de vie d'un ourson. Parmi les multiples documents (photographies, cartes et vidéos), une pépite scientifique : la projection de l'échographie cardiaque d'un plantigrade en hibernation. Puis viennent les représentations préhistoriques de l'animal, avec les deux extraordinaires squelettes d'ours des cavernes. Conjuguant les côtés esthétique, ludique et scientifique, l'exposition a aussi le mérite d'accorder une large place à l'épineuse question de la cohabitation entre l'ours et l'homme dans les Pyrénées. Cannelle, femelle tuée en 2004, est exposée dans une vitrine. ■

Andreina De Bei

Muséum, Grande Galerie de l'évolution, 36, rue Geoffroy-Saint-Hilaire, jusqu'au 19 juin 2017. Rens. : 01.40.79.54.79.

Marseille (13)

Café In
Plus de 300 œuvres d'art, photographies, objets, gravures, dessins, ouvrages rares, correspondances, archives audiovisuelles et textes inédits pour illustrer l'histoire du café dans le monde.
Mucem J4, 7, promenade Robert-Laffont, jusqu'au 23 janvier 2017. Rens. : 04.84.35.13.13.

Melun (77)



Les sciences du crime
Ponctué par l'évocation de véritables enquêtes (la German Wings, l'affaire Lætitia, la Josacine empoisonnée, etc.), le parcours plonge le visiteur au cœur de l'Institut de recherche criminelle de la gendarmerie nationale (IRCGN) et lui fait découvrir le monde de la criminalistique.
Musée de la Gendarmerie nationale, avenue du Treizième-Dragons, jusqu'au 17 avril 2017. Rens. : 01.64.14.54.64.

Paris (75)

Mutations urbaines. La ville est à nous !
Un panorama de l'urbanisation à travers le monde et un tour d'horizon des initiatives et des innovations citoyennes en matière de biodiversité, usages numériques, partage et déplacements.
Cité des sciences et de l'industrie, 30, avenue Corentin-Cariou, jusqu'au 5 mars. Rens. : 01.85.53.99.74.

Tribu/s du monde
Les croyances et la philosophie de différentes tribus nomades vues au travers de leurs mains, saisies par la photographe Anne de Vandière.
Musée de l'Homme, 17, place du Trocadéro, jusqu'au 2 janvier. Rens. : 01.44.05.72.72.

Rennes (35)

Bretagne Express
Les grandes étapes de l'évolution du voyage ferroviaire en Bretagne de 1851 à 1989 grâce aux collections iconographiques du musée et des prêts de collections privées accompagnés de témoignages de professionnels.
Musée de Bretagne, 10, cours des Alliés, jusqu'au 27 août 2017. Rens. : 02.23.40.66.00.

Vaulx-en-Velin (69)

Expérience Lune
Les conquêtes lunaires et le parcours des 12 hommes qui ont foulé son sol présentés à côté d'expériences et de projections.
Planétarium, place de la Nation, jusqu'au 9 août 2017. Rens. : 04.78.79.50.13.

CONFÉRENCES

Paris (75) et Marseille (13)



Prédire les maladies du cerveau : quelles précautions ?
Conférence du cycle « Santé en questions », avec la participation d'Alexis Brice, directeur général de l'Institut du cerveau et de la moelle épinière (ICM) à Paris, Paul-Loup Weil-Dubuc, chercheur en philosophie morale et politique à l'espace Éthique Île-de-France, Yehezkel Ben Ari, fondateur de l'Institut de neurobiologie de la méditerranée (Inmed), et Françoise Muscatelli, directrice d'équipe de recherche Inserm à l'Inmed.
Cité des sciences et de l'industrie, 30, avenue Corentin-Cariou, en duplex avec la bibliothèque de l'Alcazar à Marseille, le 3 novembre à 19 h. Rens. : conferences@universcience.fr

PARIS (75)

Pour faire naître une idée
Conférence du cycle « Mathématiques joyeuses » par le mathématicien Cédric Villani, médaille Fields.
Maison des métallos, 94, rue Jean-Pierre-Timbaud, le 7 novembre à 14 h. Rens. : 01.48.05.88.27.

L'Univers noir : la face obscure de la théorie d'Einstein
Par Guillaume Duprat, cosmographe, auteur et illustrateur, et Pierre Salati, professeur de physique à l'université de Savoie-Mont-Blanc.
Centre Pompidou, BPI, petite salle niveau -1, le 7 novembre à 19 h. Rens. : 01.44.78.12.75.

Rennes (35)

La face cachée de Darwin
Par l'éthologue et auteur Pierre Jouventin.
Les Champs libres, salle Hubert-Curien, 10, cours des Alliés, le 15 novembre à 20 h 30. Rens. : 02.23.40.66.00.

Toulouse (31)

Les comètes, avant/après Rosetta-Philae
Par Jean-Pierre Bibring, chef de projet scientifique de Philae-Rosetta à l'Institut d'astrophysique spatiale.
Cité de l'espace, avenue Jean-Gonnord, le 17 novembre à 18 h 30. Rens. : 05.67.22.23.24.

Paris (75)/ Rencontre



Physique et interrogations fondamentales

« La science, l'information, la connaissance » : c'est le thème de cette 15e rencontre organisée par la Société française de physique (SFP) et dont *Sciences et Avenir* est partenaire. Au programme : des présentations sur le concept d'information en physique (Bernard Derrida, Collège de France, Alexei Grinbaum, CEA) en biologie (Michel Morange, ENS), en informatique (Gérard Berry, Collège de France), le tout suivi d'une table ronde « Extraire l'information, retrouver la connaissance », avec Jean-Louis Ermine (Institut Mines-Télécom) et Nathalie Goedert, historienne du droit. ■ **A. Kh.**

BnF, grand auditorium, quai François-Mauriac, le 19 novembre de 9 h 30 à 18 h. Inscriptions gratuites dans la limite des places disponibles : http://pif15.sfpnet.fr



www.sciencesetavenir.fr

Sciences et Avenir au quotidien

TECHNOLOGIE

Explosion de smartphone : comment est-ce possible ?



Olivier Hertel, rédacteur high-tech
@OlivierHertel ohertel@sciencesetavenir.fr



SIPA

Deux mois seulement après le lancement de son smartphone vedette, le Galaxy Note 7, Samsung vient de suspendre sa commercialisation. La raison : une dangereuse tendance à s'enflammer ! La batterie est en cause... sciav.fr/837samsung

PALÉONTOLOGIE

Neandertal, ce bijoutier



Rachel Mulot, chef de service enquêtes
@RachelFleaux rmulot@sciencesetavenir.fr



MARIAN VANHEREN

Une analyse originale de protéines sur les bijoux de la grotte du Renne à Arcy-sur-Cure dans l'Yonne confirme que celle-ci était bien occupée par des néandertaliens, il y a 40 000 ans. sciav.fr/837neandertal



NASA - BILL STAFFORD

ESPACE

Thomas Pesquet, à quelques jours de l'ISS



Olivier Lascar, rédacteur en chef pôle digital
@olascar olascar@sciencesetavenir.fr

Le 15 novembre, l'astronaute Thomas Pesquet prendra place à bord d'une fusée Soyouz qui décollera pour la Station spatiale internationale *(lire aussi p. 21)*. Le même jour, Arte diffuse un formidable documentaire consacré à celui qui sera le 10e Français dans l'espace. Le film montre comment, depuis le 20 mai 2009, date à laquelle il a intégré le corps des astronautes de l'Agence spatiale européenne (ESA), la vie du jeune homme de 38 ans est consacrée à l'entraînement, sous toutes ses formes. À l'occasion de la projection à la presse de ce documentaire, Thomas Pesquet s'est confié aux journalistes. sciav.fr/837pesquet

SCIENCES ET AVENIR

sciav.fr/837neandertal

Nos liens Internet simplifiés. sciencesetavenir.fr devient sciav.fr

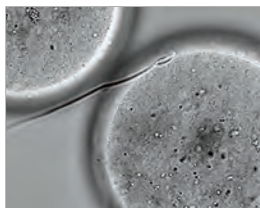
Les liens Internet conseillés dans les pages du journal le sont sous la forme du préfixe sciav.fr/ suivi d'une chaîne de lettres et de chiffres qu'il faut taper intégralement dans la barre de navigation de votre navigateur Internet en respectant les majuscules et les minuscules. Ainsi dans le texte ci-dessus, le lien 837neandertal renvoie directement à la page du site de *Sciences et Avenir* où vous pourrez lire cet article.

POUR TOUT SAVOIR DE LA SCIENCE

SI VOUS AVEZ...

2 minutes

Santé. La fécondation filmée



B. RAVAUX

La rencontre entre l'ovule et le spermatozoïde a été filmée pour la première fois par un doctorant français. sciav.fr/837fécondation

10 minutes

Nature. Le sommeil des arbres



AFP

Les arbres aussi suivent un rythme circadien et « *s'endorment* » la nuit venue, leurs branches s'affaissant. sciav.fr/837arbres

15 minutes

Biologie. Entretien avec Emmanuelle Charpentier



AFP

Chercheuse aux multiples récompenses, la codécouvreuse de CRISPR-Cas9 a répondu à nos questions. sciav.fr/837crispr


Vous êtes déjà plus de 1,7 million à nous suivre sur Facebook